

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Talonrakennustekniikka

Tutkintotyö

Anna Vikstedt

**LIIKUNTAHALLIN KATTORAKENTEIDEN UUSIMISEN RAKENNE-
SUUNNITTELU**

Työn ohjaaja

RI Raimo Koreasalo

Työn teettäjä

A-Insinöörit Oy, valvojana DI Martti Leppälä

Tampere 2007

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Talonrakennustekniikka

Vikstedt, Anna

Liikuntahallin kattorakenteiden uusimisen rakenne-suunnittelu

Tutkintotyö

93 sivua + 24 liitesivua

Työn ohjaaja

RI Raimo Koreasalo

Työn teettäjä

A-Insinöörit Oy, valvojana DI Martti Leppälä

Toukokuu 2007

Hakusanat

kattorakenteet, liimapuu, SPU-elementti, profiilipelti, alustava riskianalyysi

TIIVISTELMÄ

Työn aiheena oli suunnitella Riihimäellä Urheilutalolle uusi vesikatto ja IV-konehuoneen rakenteet. Vanha bitumikermikatteinen kattorakenne oli kosteusteknisesti toimimaton ja liimapuukannattajat eivät täyttäneet nykyisten normien vaatimuksia.

Kohde on kulttuurihistoriallisesti arvokas ja tästä syystä pyrittiin sen ulkoasua muuttamaan mahdollisimman vähän. Vanhojen liimapuukannattajien vahvistaminen oli yksi ratkaisuvaihtoehto, mutta kattorakenne päätettiin kuitenkin uusia kokonaan. Yläpohjarakenne tuli pääosiltaan SPU-elementistä. Rakennuksen sivuille jouduttiin suunnittelemaan paikalla rakennettava kertopuihin tukeutuva rakenne. IV-konehuoneen runko muodostui teräksestä, ja sekä ylä- että alapohja rakennettiin kantavan profiilipellin varaan. Koska vanhaa rakennetta ei kokonaan poistettu, tuli lisäksi suunniteltavaksi ja laskettavaksi uusien rakenteiden liitokset olemassa oleviin rakenteisiin ja vanhojen kantavien rakenteiden kestävyys. Liimapuupalkin mitoituksessa vaikeuttavana tekijänä oli erityisen pitkä jänneväli (31,1 m). Mitoituksessa oli otettava huomioon myös, ettei räystäiden korko suuresti muuttuisi edellisestä, koska räystään vieressä sijaitsevat rakennuksen ulkonäön kannalta merkittävät lasi-ikkunat, jotka uusittunakin haluttiin kuitenkin säilyttää lähes samankaltaisina.

Kohteen vaativuudesta johtuen tehtiin kattorakenteista myös alustava riskianalyysi, jossa selvitettiin, kuuluuko rakenne erityismenettelyn piiriin.

TAMPERE POLYTECHNIC

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Talonrakennustekniikka

Vikstedt, Anna

Engineering Thesis

Thesis Supervisor

Commissioning Company

May 2007

Keywords

The structural engineering of renewing of sports hall

93 pages + 24 attachment pages

RI Raimo Koreasalo

A-Insinöörit Oy, Supervisor: DI Martti Leppälä

roof covering, glued laminated timber, SPU's prefabricated unit, corrugated steel, tentative risk analysis

ABSTRACT

The subject was to plan new roof covering and the new room for ventilation stations to Riihimäki's Sports hall. The old tanked roof woodwork was watering and the roof skeleton did not qualify present standards.

Sports hall is valuable in cultural historical way and that is why we tried to change it's exterior as little as possible. One option was to reinforce the old roof skeleton but it was decided to renew entirely. Most of the roof was build from SPU's prefabricated unit. To roof's sides needed a different kind of structure. Sides of the roof were leaning on glued laminated beams. The skeleton of room of ventilation stations was build on steel and the roof and base floor was leaning on corrugated steel. Because the old structure was not removed entirely I also had to design how the new structure would connect to old one. I also needed to find out if the old structure would carry the weight of new roof skeleton. The dimensioning of glued laminated beam was especially challenging because beam bearing distance was longer than usually (31,3 m). Even more challenge brought the halls cultural historical value. Height of building could not notably change because important glass windows exterior had to remain as similar as possible. Roof skeleton was so testing that I also had to do a tentative risk analysis of the structure.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO	5
1 JOHDANTO	9
2 LÄHTÖTIEDOT /21/	9
3 UUDEN VESIKATON RAKENNE.....	11
4 KATTOKANNATTAJAN VAIHTOEHDOT.....	13
4.1 Vanhan kattopalkin vahvistaminen.....	13
4.2 Teräsristikko	14
4.3 Uusi liimapuupalkki.....	14
5 KUORMAT KATTOKANNATTAJALLE.....	15
5.1 Pysyvät kuormat.....	15
5.1.1 Vesikatto	15
5.1.2 Ripustuskuorma	15
5.1.3 Alakatto.....	16
5.1.4 IV-konehuoneen rakenteet	16
5.1.5 IV-kone	17
5.2 Muuttuvat kuormat.....	17
5.2.1 Lumi.....	18
5.2.2 Kinostus	18
5.2.3 Tuuli.....	19
5.2.4 Hyötykuormat	26
6 LIIMAPUUPALKIN MITOITUS	26
6.1 Liimapuun ominaisuudet /8/	26
6.2 Palkin omapaino.....	27
6.3 Käyttörajatila.....	28
6.3.1 Kuormien suuruudet ja sijoittuminen.....	28
6.3.2 Taipuma	29
6.4 Murtorajatila	33
6.4.1 Kuormat murtorajatilassa.....	34
6.4.2 Momentti.....	35

6.4.3	Taivutus ja kiepahdus	37
6.5	Poikittainen jännitys.....	44
6.5.1	Tukireaktiot.....	46
6.5.2	Tukipinta.....	49
6.5.3	Leikkausvoimat.....	50
6.5.4	Leikkauskestävyys	51
6.6	Palotekninen mitoitus.....	53
6.6.1	Hiiltyminen	54
6.6.2	Kuormat palotilanteessa.....	55
6.6.3	Momentti.....	55
6.6.4	Taivutus ja kiepahdus	57
6.6.5	Tukireaktiot.....	59
6.6.6	Leikkausvoimat.....	60
6.6.7	Leikkaus.....	60
6.7	Kestävyys reiän kohdalta	61
6.7.1	Taivutuskestävyys.....	62
6.7.2	Leikkauskestävyys	64
7	VANHOJEN PORAPAAALUJEN KESTÄMINEN	65
7.1	Tuki I.....	65
7.2	Tuki A	65
8	TUKIPINNAN LEVENTÄMINEN	66
9	PILARIN JA PALKIN NIVELLIITOS	69
10	“SIVUKAUKALON” PALKKIEN MITOITUS.....	72
10.1	Kuormat	72
10.2	Mitoitus	73
10.3	Liittyminen pääpalkkiin	73
11	IV-KONEHUONEEN RAKENTEET	74
11.1	Kuormat	75
11.1.1	Pysyvä kuorma.....	75
11.1.2	Lumi.....	75
11.1.3	Tuuli.....	75
11.2	Kantavat poimulevyt.....	79
11.2.1	Katon kantavan poimulevyn mitoitus	79
11.2.2	Lattian kantavan poimulevyn mitoitus.....	80

11.3 Kaatuminen	81
11.4 Kehän stabiilius	83
11.5 Pilari ja palkki	84
11.6 Jäykistys	84
11.6.1 Lyhyen sivun vinositeet	84
11.6.2 Pitkän sivun vinositeet	86
12 RAKENTEELLISEN TURVALLISUUDEN VARMISTAMINEN /17/	89
13 YHTEENVETO	91
14 LÄHDELUETTELO	92

LIITTEET

1. Vanhan palkin kestävyyslaskelma
2. Vahvistuslaskelmat
3. Teräsristikon alustava mitoitus
4. Vaihtoehtojen hinta-arviot
5. Uuden liimapuupalkin laskelma Pupaxilla
6. Sivukaukalon palkin kestävyyslaskelmat Pupaxilla
7. Piirustus n:o 003, 1.kerroksen kattorakenteet
8. Piirustus n:o 004, IV-konehuone
9. Piirustus n:o 005, Uusi vesikatto
10. Piirustus n:o 013 – 1, Halliosan liimapuupalkki LP1 (1kpl), mittapiirustus
11. Piirustus n:o 013 – 2, Halliosan liimapuupalkki LP2 (6kpl), mittapiirustus
12. Piirustus n:o 013 – 3, Halliosan liimapuupalkki LP3 (1kpl), mittapiirustus
13. Piirustus n:o 014, Halliosan liimapuupalkkien LP1...LP3 kiinnitysdetailit
14. Piirustus n:o 020, Leikkaus A – A (halliosa)
15. Piirustus n:o 024, Halliosan vesikattoleikkaukset
16. Alustava riskiarvio

SYMBOLILUETTELO

A	poikkileikkauksen ala, tuki moduulilinjalla A
a	ulokkeen pituus, pistekuorman etäisyys tuelta I, kuormitusalueen keskipisteen etäisyys tuelle A
a_1	reiän halkaisija
B	tarkasteltavan rakennuksen leveys laskettaessa tuulikuormia
b	palkin leveys, pistekuorman etäisyys tuelta A
c	kuormitusalueen leveys
C_p	tuulen painekerroin
d	puun halkaisija
E	kimmomoduuli syyn suuntaan
f	laskentalujuus
f_b	laskentataivutuslujuus
f_{bk}	ominaistaivutuslujuus
f_c	laskentapuristuslujuus syyn suuntaan
$f_{c\perp}$	laskentapuristuslujuus syyn suuntaa vastaan
$f_{c\perp k}$	ominaispuristuslujuus syyn suuntaa vastaan
f_{ck}	ominaispuristuslujuus syyn suuntaan
f_t	laskentavetolujuus syyn suuntaan
f_v	laskentaleikkauslujuus syiden suuntaisessa tasossa syiden suuntaan
$f_{v\perp}$	laskentaleikkauslujuus syiden suuntaisessa tasossa kohtisuoraan syitä vastaan
f_y	ainelujuus
G	liukumoduuli, pysyvä pistekuorma ominaiskuormana
g	tasainen pysyvä ominaiskuorma
h	palkin korkeus
I	poikkileikkauksen jäyhyysmomentti, tuki moduulilinjalla I
i	poikkileikkauksen jäyhyyssäde

k_k	kiepahduksen huomioon ottava kerroin
k_s	nurjahduksen huomioon ottava kerroin
k_v	palkin päässä olevan loven huomioon ottava kerroin
L	jänneväli, puristussauvan pituus
L_c, L_{eff}	puristussauvan nurjahduspituus
l_{eff}	tehollinen tukipituus
L_k	kiepahdusta määritettäessä sivuttaistukien välimatka
L_w	kinostuskuorman vaikutusalue
M_d	laskentamomentti
N	vetovoima
P	porapaalun potentiaali pistevoima
Q	muuttuva pistekuorma ominaiskuormana
q	tasainen muuttuva ominaiskuorma
R	laskentatukireaktio
V	leikkausvoima
V_{cr}	poikkileikkauksen leikkauskestävyys
W	taivutusvastus
w	taipuma
W_e	tuulen paine moduulivälille
α	voiman ja puun syyn välinen kulma, nurjahduksen huomioiva kerroin
β_A	poikkileikkausluokan huomioiva kerroin
γ_m	rakenteen materiaalin osavarmuuskerroin
λ	hoikkuus
σ_b	laskentakuormien aiheuttama taivutusjännitys
σ_{b0}	ulkoisten kuormien aiheuttama taivutusjännitys
σ_c	laskentakuormien aiheuttama puristusjännitys
τ	laskentakuormien aiheuttama leikkausjännitys

1 JOHDANTO

Työn tarkoituksena on suunnitella Riihimäellä Urheilutalolle uusi vesikatto ja sen päälle uusi IV-konehuone. Tällä hetkellä vesikatto on liimapuupalkkeihin tukeutuva bitumikermikatteinen harjakatto, jonka kaltevuus on noin 1:40. Osittain katon päälle on sijoitettu kolme pientä IV-konehuonetta. Vesikatto on tällä hetkellä kosteusteknisesti toimimaton ja IV-konehuoneiden kapasiteetti riittämätön. Kattokannattajat on mitoitettu lumikuormalle $1,25 \text{ kN/m}^2$, joka on ollut määrätty lumikuorma Riihimäen alueella Urheilutalon valmistumisvuonna 1967. Nykyisten Suomen Rakentamismääräyskokoelman kuormitusohjeiden /2/ mukaisesti lumikuorma on Riihimäen alueella 2 kN/m^2 . Vanhat liimapuukannattajat eivät siten täytä nykyisten normien vaatimuksia.

Koska kohde on kulttuurihistoriallisesti arvokas, on korjauksessa tarkoitus pyrkiä pitämään hallin ulkoasu mahdollisimman samankaltaisena. Tämä tarkoittaa, että vaikka kuorma vesikatolle kasvaa huomattavasti, rakennuksen korkeus ei saisi merkittävästi kasvaa. Lisää rajoituksia ja haastetta uuden kattokannattajan valitsemiseen asettaa pääkannattajien huomattava jänneväli, 31,1 metriä. Työssäni tulen tutkimaan eri vaihtoehtoja, mitoittamaan kannattajat valitulle vaihtoehdolle ja suunnittelemaan vesikatolle uuden IV-konehuoneen. Tarkastelun alla tulee olemaan myös uuden rakenteen liittyminen vanhaan ja vanhojen kantavien rakenteiden kestävyys.

2 LÄHTÖTIEDOT /21/

Osoite:	Pohjolankatu 6
	11120 RIIHIMÄKI
	kaupungin Harjukylä 1
	kortteli 9006
	tontti nro 9

Huoneistoala:	3 763 m ²
Hyötyala:	2 971 m ² k
Kerrosala:	1 810 m ²
Tilavuus:	20 800 m ³
Tontin pinta-ala:	3 600 m ²

Riihimäen urheilutalo on yksikerroksinen hallirakennus, jonka korkeus pääpalkin alle on 8 metriä. Hallin toisessa päässä on matalampi siipiosa, jossa sijaitsevat sisäntuloaula, kahvila ja toimistotiloja. Maanpäällisen kerroksen alla on kellarikerros, jossa on keilahalli, kuntosali, pesuhuone- ja pukutiloja sekä teknisiä tiloja.

Urheilutalon runkorakenteet on perustettu teräsbetonipaaluille. Alapohjat ovat maanvaraisia. Kellarin ulkoseinät ovat maanpaineellisia teräsbetoniseiniä, joiden yläreunassa on lämmöneristyshalkaisu. Halliosassa rungon muodostavat teräsbetonipilarit ja liimapuupalkit, siipiosalla teräspilarit ja liimapuupalkit. Yläpohjat ovat puurakenteisia, tuulettuvia ja mineraalivillalla eristettyjä. Vesikatteena on ollut alun perin bitumihuopa, jonka päällä on ollut kivisuojaus. Vedenpoisto on hoidettu sisäpuolisilla kattokaivoilla. Ulkoseinät on muurattu poltetusta tiilestä. Hallin päätyseinät ovat ns. 1½ kiven umpimuurattuja seiniä. Pitkien seinien sisä- ja ulkopuolella on kuorimuuraus, joiden välissä on lämmöneristys. Poikkeuksen muodostaa katsomon puoli, jossa sisäkuori on teräsbetonia.

Urheilutalon alkuperäiset suunnittelutoimistot ovat

- Arkkitehtisuunnittelu Arkkitehtitoimisto Raimo S.O. Valjakka Oy
- Rakennesuunnittelu Insinööritoimisto Matti Ruoslahti & Co
- LVI-suunnittelu Insinööritoimisto Olof Granlund
- Sähkösuunnittelu Riihimäen Sähkö-Teho Oy.

Vuonna 1999 Urheilutalon rakenteita tarkasteltiin ensin silmämääräisesti ja haastateltiin rakennuksen käyttäjiä sekä kunnossapitohenkilöstöä.

Vesikate on uusittu vuonna 1988. Katemateriaalina on bitumihuopa. Varsinainen suojakiveys on poistettu, päällimmäisenä on ns. pintahuopa. Alkuperäisen huovan aluskatteen on raakaponttilauta. Annettujen tietojen mukaan on uusi kate tehty polyuretaanilevyjen päälle.

3 UUDEN VESIKATON RAKENNE

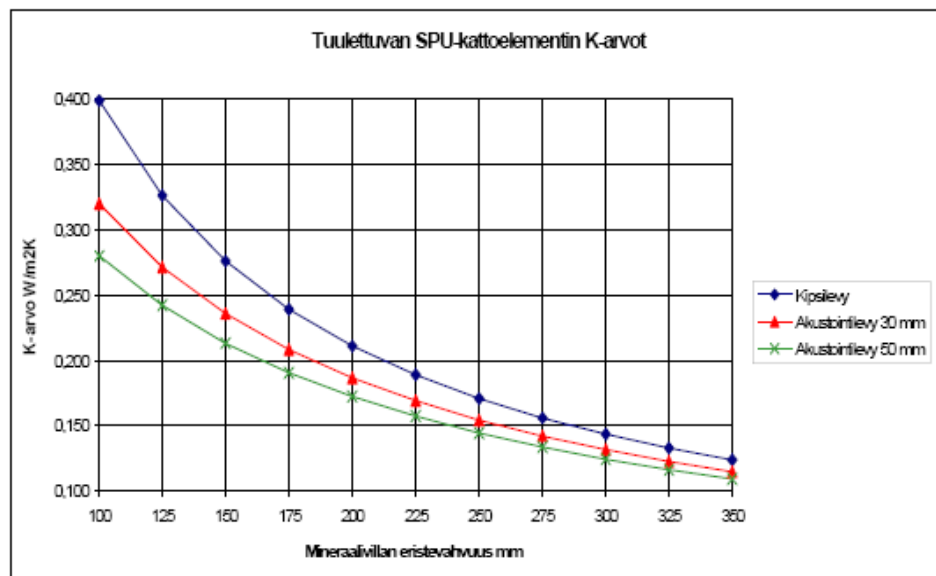
Koska rakentamisajan on suhteellisen lyhyt, oli alusta asti selvää, että vesikattorakenne tulisi olemaan esivalmistettu. Vaihtoehtoina ovat profiilipelti tai SPU-elementti. Jotta kattorakenne saataisiin mahdollisimman kevyeksi ja siten mahdollisimman matalaksi, vertasin näiden kahden vaihtoehdon painoja keskenään. Painoissa ei ollut merkittävää eroa, joten keskusteltuamme tilaajan kanssa päädyimme puurakenteiseen SPU-elementtiin. Tämä siksi, koska he halusivat säilyttää yläpohjan päällisin puolin puurakenteisena.

SPU-elementti

SPU-elementti on kertopuurungosta muodostuva tehtaalla valmiiksi rakennettava elementti. Elementeissä on lämmöneristeenä polyuretaani tai mineraalivilla ja sisäverhouslevynä esim. kipsilevy tai akustinen levy. Vesikatteenä voidaan käyttää yksikerroskatetta, joka on kiinnitetty elementtiin tehtaalla, profiilipeltiä tai huopakatetta. Elementit voidaan asentaa suoraan kantavan rungon päälle, jolloin valmis- ta vesikattopintaa syntyy nopeammin kuin paikalla rakennettaessa. /20/

Tässä tapauksessa päädyttiin tuulettuvaan mineraalivillaeristeiseen SPU-kattoelementtiin. Yksikerroskate (Protan) olisi ollut bitumikattoa kevyempi, mutta tilaajan kanssa keskusteltuamme päädyimme bitumikermikatteeseen.

Elementin mitoittaa valmistaja, mutta esimerkiksi korkotietojen saamiseksi tein elementistä alustavan mitoituksen. Lämmöneristeen paksuus valitaan alla olevan kuvaajan mukaan.

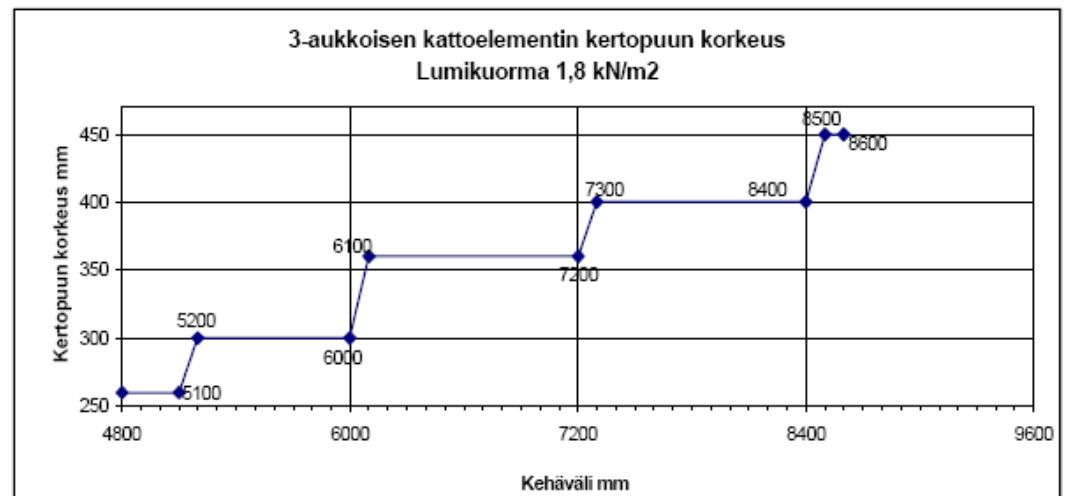


Kuva 1. Tuulettuvan SPU-kattoelementin k-arvot. /20 s. 19?/

Alapintaan asennetaan kipsilevy, sillä ääneneristysasiat hoidetaan alakatolla. Rak.Mk:n osan C3 /5/ mukaan lämpimän tilan yläpohjan rajoittuessa ulkoilmaan lämmönläpäisykertoimen k-arvo (uusissa normeissa U-arvo) $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$. Tälöin taulukosta katsottuna minimieristys on 300 mm.

Elementtien käyttöalue on yleensä jänneväleillä 4,8 - 12 m. Elementit tehdään usein moniaukkoisiksi, eli elementin pituus on yleensä 18 - 24m. Vakioleveys on 2400 mm + 2*kertopuun paksuus + 20 mm saumalista + 3 mm asennustoleranssi. Sovituselementeiksi voidaan valmistaa kapeampia elementtejä. Elementin pituus on määriteltävissä vapaasti (käyttöalueella) ottaen huomioon jänneväli ja tarvittavat asennusvarat (20 mm). Elementtien suurin pituus on noin 26 m. /20 s. 19/

Liimapuupalkkien jako on 4,5 m. Jos elementin pituus on yleensä 18 - 24 metriä saadaan elementistä ainakin 4-aukkoinen. Alustava kertopuun korkeus voidaan määrittää alla olevasta taulukosta.



Kuva 2. 3-aukkoisen kattoelementin kertopuun korkeus. /20 s. 19/

Kertopuun korkeudeksi valitaan 360 mm, sillä lumikuorma on suurempi kuin yllä.

4 KATTOKANNATTAJAN VAIHTOEHDOT

Arkkitehdin kanssa keskusteltuamme päätimme miettiä kattokannattajiksi seuraavia vaihtoehtoja: teräsristikko, vanhan palkin vahvistaminen ja kokonaan uusi palkki. Arkkitehti toivoi, että rakennuksen ulkonäkö ja luonne eivät huomattavasti muuttuisi. Tämä asettaa vaatimuksia niin kannattajille kuin kallistuksillekin. Seuraavissa luvuissa on mietitty hieman jokaisen vaihtoehdon ominaisuuksia. Tilaa-jaa kiinnosti myös kuinka paljon rakenne tulisi maksamaan, joten teimme jokaisesta vaihtoehdosta lisäksi alustavan mitoituksen ja hinta-arvion. Katso liitteet 2,3 ja 4.

4.1 Vanhan kattopalkin vahvistaminen

Korjausvaihtoehtona oli liimapuupalkkien vahvistaminen. Leikkausjännitystä saadaan vähennettyä lisäämällä palkin toiselle puolelle vanerilevy.

Taivutusta ei pysty pienentämään muulla keinolla, kuin lisäämällä palkin viereen toinen samanmuotoinen palkki. Harjapalkki-ohjelmalla laskettuani sain selville, että riittävään kestävyYTEEN pääsemiseksi olisi palkin rinnalle lisättävä toinen lähes samansuuruinen palkki. Jos palkin viereen joudutaan lisäämään toinen palkki sen vahvistamiseksi, seuraa ongelma, kuinka palkin uuden saa tuettua betonipilarin päälle, sillä tukipintaa oli vain tämänhetkisen palkin suuruuden verran. Toinen ongelma on uuden palkin kiinnittäminen vanhan kylkeen siten, että niiden yhteisvaikutus on saumaton. Saumattoman yhteisvaikutuksen aikaansaamiseksi olisi uusi palkki todennäköisesti pultattava tai naulattava naulalevyjen avulla hyvin tiheästi kiinni vanhaan. Rakennustyön monimutkaisuuden ja suhteellisen suuren materiaalienekin vuoksi korjaus tulisi lähes yhtä kalliiksi kuin palkkien uusinta.

Vaihtoehto esitettiin korjauksen toimeksiantajille, joiden mukaan ratkaisu olisi ollut liian vaivalloinen, jolloin asiaan ei suunnittelutyön puitteissa kiinnitetty sen enempää huomiota.

4.2 Teräsristikko

Teräsristikkoa ajateltiin yhtenä vaihtoehtona sen keveyden vuoksi. Teräsrakennetta mietittäessä on tällaisissa rakennuksissa otettava huomioon palotekniset asiat. Teräs ei sinällään kestä paloa kovin hyvin, se olisi suojattava palonsuojamaalilla. Mitään varsinaista ongelmaa ei suojamaalauksessa ole, mutta se nostaisi hintaa. Palonsuojamaalauksen kanssa rakenne maksaisi asennettuna n. 2,5 – 3 €/kg.

4.3 Uusi liimapuupalkki

Järkevimmäksi vaihtoehdoksi muodostui vanhojen liimapuupalkkien korvaaminen uudella palkilla. Korkeus ei todennäköisesti merkittävästi muuttuisi, lisäksi rakennuksen luonne pysyisi suunnilleen samankaltaisena. Uusimisessa liimapuun käytämisellä olisi positiivisena puolena myös se, että varsinaista palonsuojausta ei tarvittaisi, vaan liimapuu tulisi vain mitoittaa siten, että se kestää palokuormat.

Myös IV-konehuone saataisiin paremmin istumaan liimapuukannattajan päälle, kun liimapuuhun on mahdollista tehdä pykäliä, jolloin uusi konehuone saataisiin ikään kuin upotettua palkkiin.

5 KUORMAT KATTOKANNATAJALLE

Kattokannattajille tuleva kuorma muodostuu vesikattorakenteesta, vesikaton päälle tulevasta lumesta, IV-konehuoneen rakenteista, ripustuksista ja alakatosta.

5.1 Pysyvät kuormat

Pysyvät kuormat muodostuvat kattokannattajan omasta painosta ja palkin päälle tulevien rakenteiden painosta. Kuormaa kattokannattajalle tuovat vesikaton ja jakavan väliverhon paino, IV-konehuoneen rakenteet ja IV-kone.

5.1.1 Vesikatto

SPU-elementin suunnittelukansion /20 s.22/ mukaan vesikaton paino on noin 0,25 - 0,6 kN/m². Valitaan suurin mahdollinen kuorma, jolloin tasainen kuorma yhdelle liimapuupalkille on $g_{\text{vesikatto}} = 0,6 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,5 \text{ m} = 2,7 \text{ kN/m}$.

5.1.2 Ripustuskuorma

Palkille ripustuskuormaa muodostavat kahteen palkkiin kiinnitettävä väliverho, kohdevalaisimet ja liikuntavälineet. Champion Door Oy:n edustajan /23/ mukaan kaksikankainen väliverho, jonka mitat ovat suunnilleen 8 m x 25 m, painaa noin 2000 - 2500 kg. Siitä tulee painoa 25 metrin matkalle 100 kg/m, jolloin tasaista kuormaa muodostuu liimapuulle 1 kN/m. Muut ripustukset aiheuttavat palkille

suunnilleen samansuuruisen rasituksen, jolloin kaikille palkeille lasketaan ripustuskuormaksi 1 kN/m.

5.1.3 Alakatto

Alakattona käytetään iskunkestävää rei'itettyä kipsilevyä, malli Danogrips Contrapanel / G1F, pinnoitettu. Alakatto kiinnitetään ruuvein ja sen ainepaksuus on 12,5 mm. Knauf Oy:n edustajan mukaan /27/ rei'itetty kipsilevy painaa $9,2 \text{ kg/m}^2$, sileä kipsilevy $9,9 \text{ kg/m}^2$ ja erikoiskova kipsilevy $11,5 \text{ kg/m}^2$. Alakattolevyn massa kiinnityksineen painaa noin 12 kg/m^2 .

Yhdelle palkille kuormaa muodostuu tällöin

$$g_{\text{alakatto}} = 0,12 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,5 \text{ m} \approx 0,6 \text{ kN/m}.$$

5.1.4 IV-konehuoneen rakenteet

IV-konehuoneen korkeus (h) on n.4,3 m, leveys on 8 m ja pituus n. 32.

Rakenteiden painot:

- seinän paino $g = 0,34 \text{ kN/m}^2$
- katon paino $g = 0,45 \text{ kN/m}^2$
- lattian paino $g = 0,33 \text{ kN/m}^2$.

Teräspilarit painavat noin 1,1 kN ja teräspalkki noin 2,3 kN.

Lattian ja seinän paino tuovat palkille tasaista pysyvää kuormaa

- IV-konehuoneen reunalla:
 $g = 0,33 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,25 \text{ m} + 0,34 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,3 \text{ m} = 2,2 \text{ kN/m}$
- IV-konehuoneen keskellä:
 $g = 0,33 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,5 \text{ m} = 1,5 \text{ kN/m}.$

Laskelmien yksinkertaistamiseksi lasketaan IV-konehuoneelta tuleva tasainen pysyvä kuorma myös arvolla 2,7 kN/m.

IV-konehuoneelta tulee liimapuupalkille kolme pistekuormaa. Määrävin tilanne on IV-konehuoneen keskellä, jolloin myös seiniltä tulee pistekuormaa IV-

konehuoneen reunoille. Pysyvät kuormat muodostuvat teräsrakenteiden ja katon painosta.

$$G_1 = 0,45 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,5 \text{ m} \cdot 1,93 \text{ m} + 0,34 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,3 \text{ m} \cdot 4,5 \text{ m} + 1,775 \text{ kN} = 12,3 \text{ kN}$$

$$G_2 = 0,45 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,5 \text{ m} \cdot 3,74 \text{ m} + 2,75 \text{ kN} = 10,3 \text{ kN}$$

$$G_5 = 0,45 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,5 \text{ m} \cdot 1,81 \text{ m} + 0,34 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,5 \text{ m} \cdot 4,5 \text{ m} + 1,775 \text{ kN} = 12,3 \text{ kN}$$

5.1.5 IV-kone

IV-konehuoneeseen sijoitetaan kaksi konetta. LVI-suunnittelijan /24/ mukaan molemmat koneet painavat 3132 kg = 32 kN. LVI-piirustusten mukaan koneen leveys on 2 m ja pituus 11,45 m.

Koneen paino jaetaan sen pinta-alalla, jolloin saadaan paino yhtä neliömetriä kohden.

$$g = \frac{32 \text{ kN}}{(2 \text{ m} \cdot 11,45 \text{ m})} = 1,4 \text{ kN/m}^2$$

Yhdelle palkille muodostuu kaksi pistekuormaa, jotka ovat suuruudeltaan

$$G_3 = G_4 = 1,4 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,5 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} = 6,3 \text{ kN}$$

5.2 Muuttuvat kuormat

Muuttuvat kuormat ovat kuormia, jotka eivät kuormita palkkia jatkuvasti. Näitä ovat lumi, lumen kinostus, tuuli ja IV-konehuoneen hyötykuorma.

5.2.1 Lumi

Rakenteiden kuormitusohjeiden /14/ mukaan lumikuorma (s) on Suomessa

$$s = \mu \cdot s_k \quad (1)$$

jossa s_k on lumikuorma alueella ja μ muotokerroin.

Rakennus sijaitsee Riihimäen alueella jolloin $s_k = 2 \text{ kN/m}^2$ ja $\mu = 1$.

Tällöin

$$s = 1 \cdot 2 \text{ kN/m}^2 = 2 \text{ kN/m}^2.$$

Lumesta yhdelle palkille aiheutuva tasainen kuorma on tällöin

$$q_{k,\text{lumi}} = 2 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,5 \text{ m} = 9 \text{ kN/m}.$$

IV-konehuoneen kohdalla lumikuorma jakaantuu suurimmassa osassa tilanteista kolmeksi pistekuormaksi.

$$Q_1 = 2 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,5 \text{ m} \cdot 1,68 \text{ m} = 15,1 \text{ kN}$$

$$Q_2 = 2 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,5 \text{ m} \cdot 3,74 \text{ m} = 33,7 \text{ kN}$$

$$Q_5 = 2 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,5 \text{ m} \cdot 2,06 \text{ m} = 18,5 \text{ kN}$$

5.2.2 Kinostus

Kinostus saadaan Rakenteiden kuormitusohjeiden /14/ mukaisesti kaavalla

$$\mu_2 = \mu_w \cdot \mu_s \quad (2)$$

jossa μ_2 kinostuksesta aiheutuva kerroin yhteensä, μ_w on kerroin, joka määrittelee katolla olevasta lumesta aiheutuvan kinostuksen ja μ_s kerroin, joka määrittelee kaltevuuden aiheuttaman lumen kasauman.

Koska, $\mu_s = \frac{\mu_1 L_1}{2L_s}$, kun $\alpha_1 > 15^\circ$ (pelti, lasi) ja $\alpha_1 > 40^\circ$ (tiili) eikä liukuesteitä ja

muulloin 0 on $\mu_2 = \mu_w$.

Lumikuorman vaikutusmatkan pituus saadaan kaavasta

$$L_w = 4(\mu_w - 1) \text{ m} . \quad (3)$$

Arvot katsotaan taulukosta h:n arvolla 3,5 m ja L_1 :n arvolla 8 m. /14/

Tällöin $\mu_w = 1,8$ ja $L_w = 4(1,8 - 1) \text{ m} = 3,2 \text{ m}$.

Koska lumikuorma on alueella 2 kN/m^2 , saadaan kinostuskuormaksi

$$s = 1,8 \cdot 2 \text{ kN/m}^2 = 3,6 \text{ kN/m}^2$$

Yhdelle palkille kinostusta siis aiheutetaan suurimmillaan

$$q_{kinostus} = 3,6 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,5 \text{ m} = 16,2 \text{ kN/m}$$

Laskelmissa lumikuorma ajatellaan kasautuvan palkille yhdeksi pistekuormaksi

$$Q_{kinostus} = \frac{16,2 \text{ kN/m} \cdot 3,2 \text{ m}}{2} = 25,92 \text{ kN} .$$

5.2.3 Tuuli

Tulevan IV-konehuoneen puolelta on rakennuksen korkeus maanpinnasta 14,4 metriä. Toiselta puolelta rakennuksen korkeus on 11,75 metriä, joka on myös lyhyiden sivujen korkeus. Rak.Mk:n osan B1 /2 s.10/ taulukosta 3.4.2 saadaan kaava, josta alueen tuulikuorma saadaan laskettua.

Rakennus kuuluu maastoluokkaan III, jolloin tuulen nopeuspaine saadaan kaavasta

$$q = 0,49 \left(\frac{z}{10} \right)^{0,32} \quad (4)$$

missä z = rakennuksen korkeus.

Rakennuksen korkealla puolella $z = 14,4$ m, jolloin

$$q = 0,49 \left(\frac{14,4}{10} \right)^{0,32} = 0,55 \text{ kN/m}^2.$$

Rakennuksen muilla sivuilla $z = 11,75$ m, jolloin

$$q = 0,49 \left(\frac{11,75}{10} \right)^{0,32} = 0,52 \text{ kN/m}^2.$$

5.2.3.1 Tuuli katolle

Tällöin rakenne mitoitetaan Rakenteiden kuormitusohjeen /14/ mukaan tuulikuormalle mitoitustapauksen b mukaan. Tuulesta aiheutuva voima (w) saadaan laskettua kaavalla

$$w = C_p q \quad (5)$$

jossa C_p = painekerroin (+ tai -) ja q = nopeuspaine korkeudelle, joka ilmoitetaan painekertoimen yhteydessä. Positiivinen C_p osoittaa paineen vaikuttavan ulkopintaa kohti ja negatiivinen ulkopinnasta poispäin.

Tuuli lasketaan neljässä eri tapauksessa, joista valitaan määräävin.

Tapaukset ovat

1. tuuli sivulle ja sisäinen positiivinen paine
2. tuuli sivulle ja sisäinen negatiivinen paine
3. tuuli sivulle ja sisäinen negatiivinen paine
4. tuuli päätyyn ja sisäinen positiivinen paine
5. tuuli päätyyn ja sisäinen negatiivinen paine.

Katon leveys on 32,8 m ja pituus 41,65 m. Palkkijako on 4,5 m.

Tapaus 1. Tuuli matalammalle sivulle ja sisäinen positiivinen paine

$$q = 0,49 \left(\frac{11,75}{10} \right)^{0,32} = 0,52 \text{ kN/m}^2$$

$$h = 11,75 \text{ m}$$

$$L = 32,8 \text{ m}$$

$$\frac{h}{L} = \frac{11,75 \text{ m}}{32,8 \text{ m}} = 0,36 \leq 0,5$$

$$\alpha < 10^\circ \text{ (tuulen suunta)}$$

Tuulenpuoleinen osuus:

$$w = C_p q = [-0,9 + (-0,4) - (+0,2)] \cdot 0,52 \text{ kN/m}^2 = -0,78 \text{ kN/m}^2$$

$$q = -0,78 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,5 \text{ m} = -3,51 \text{ kN/m} \text{ (ylöspäin vaikuttava nostava voima).}$$

Suojanpuoleinen osuus:

$$w = C_p q = [-0,3 + 0,2 - (+0,2)] \cdot 0,52 \text{ kN/m}^2 = -0,16 \text{ kN/m}^2$$

$$q = -0,16 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,5 \text{ m} = -0,72 \text{ kN/m}.$$

Tapaus 2. Tuuli matalammalle sivulle ja sisäinen negatiivinen paine

$$q = 0,49 \left(\frac{11,75}{10} \right)^{0,32} = 0,52 \text{ kN/m}^2$$

$$h=11,75 \text{ m}$$

$$L = 32,8 \text{ m}$$

$$\frac{h}{L} = \frac{11,75 \text{ m}}{32,8 \text{ m}} = 0,36 \leq 0,5$$

$$\alpha < 10^\circ \text{ (tuulen suunta)}$$

Tuulenpuoleinen osuus:

$$w = C_p q = [-0,9 + (-0,4) - (-0,3)] \cdot 0,52 \text{ kN/m} = -0,52 \text{ kN/m}^2$$

$$q = -0,52 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,5 \text{ m} = -2,34 \text{ kN/m}$$

Suojanpuoleinen osuus:

$$w = C_p q = [-0,3 + 0,2 + 0,3] \cdot 0,52 \text{ kN/m} = 0,104 \text{ kN/m}^2$$

$$q = 0,104 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,5 \text{ m} = 0,5 \text{ kN/m}$$

Tapaus 3. Tuuli päätyyn ja sisäinen positiivinen paine

Katso tapaus 1.

Tapaus 4. Tuuli päätyyn ja sisäinen negatiivinen paine

Katso tapaus 2.

Eli käyttötilassa molempiin päätyihin maksimi-tuulivoima olisi

$$G = -0,78 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,5 \text{ m} \cdot \frac{32,8 \text{ m}}{2} = -62,829 \text{ kN}$$

Eli kiinnitysruuvit on mitoitettava siten, että ne kestävät tuon suuruisen ylöspäin suuntautuvat voiman.

Vesikatolle tuulikuorma on maksimissaan 0,78 kN/m².

5.2.3.2 Tuuli seinille

Seiniin kohdistuvan tuulivoiman muotokerrointen suuruudet määritellään suureiden L ja B suhteenä. Tässäkin mitoitetaan tuuli neljälle eri tapaukselle.

Tapauksissa 1. ja 2.

$$q = 0,49 \left(\frac{14,4}{10} \right)^{0,32} = 0,55 \text{ kN/m}^2$$

$$B = 32,12 \text{ m}$$

$$L = 8,1 \text{ m}$$

$$\frac{L}{B} = \frac{8,1 \text{ m}}{32,12 \text{ m}} = 0,25$$

$$\frac{h}{L} = \frac{3,5 \text{ m}}{8,1 \text{ m}} = 0,43$$

Jolloin ulkopuolisen paineen C_p , nopeuspaineena q_h , määräytyvät seuraavasti:

- Tuulenpuoleinen seinä: $C_p = 0,7$
- Suojanpuoleinen seinä: $C_p = -0,5$
- Sivuseinät: $C_p = -0,7$.

Sisäpuolisen paineen positiivinen kerroin C_{pi} on $+ 0,30$ ja negatiivinen C_{pi} on $- 0,40$.

Tapaus 1. Tuuli sivulle ja sisäinen positiivinen paine

Tuulenpuoleinen:

$$w = C_p q = [0,7 - (+0,3)] \cdot 0,55 \text{ kN/m}^2 = 0,22 \text{ kN/m}^2$$

$$q = 0,22 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,5 \text{ m} = 0,99 \text{ kN/m} \text{ (seinään päin ulkopuolelta vaikuttava voima)}$$

Suojanpuoleinen:

$$w = C_p q = [-0,5 - (+0,3)] \cdot 0,55 \text{ kN/m} = -0,44 \text{ kN/m}^2$$

$$q = -0,44 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,5 \text{ m} = -1,98 \text{ kN/m (seinästä poispäin vaikuttava voima)}$$

Sivuseinät:

$$w = C_p q = [-0,7 - (+0,3)] \cdot 0,55 \text{ kN/m} = -0,55 \text{ kN/m}^2$$

$$q = -0,55 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,5 \text{ m} = -2,475 \text{ kN/m}$$

Tapaus 2. Tuuli sivulle ja sisäinen negatiivinen paine

Tuulenpuoleinen:

$$w = C_p q = [0,7 - (-0,4)] \cdot 0,55 \text{ kN/m}^2 = 0,605 \text{ kN/m}^2$$

$$q = 0,605 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,5 \text{ m} = 2,72 \text{ kN/m (seinään päin ulkopuolelta vaikuttava voima)}$$

Suojanpuoleinen:

$$w = C_p q = [-0,5 - (-0,4)] \cdot 0,55 \text{ kN/m} = -0,055 \text{ kN/m}^2$$

$$q = -0,055 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,5 \text{ m} = -0,25 \text{ kN/m (seinästä poispäin vaikuttava voima)}$$

Sivuseinät:

$$w = C_p q = [-0,7 - (-0,4)] \cdot 0,55 \text{ kN/m} = -0,165 \text{ kN/m}^2$$

$$q = -0,165 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,5 \text{ m} = -0,74 \text{ kN/m (seinästä poispäin vaikuttava voima)}$$

Tapauksissa 3. ja 4.

$$q = 0,49 \left(\frac{14,4}{10} \right)^{0,32} = 0,55 \text{ kN/m}^2$$

$$B = 8,1 \text{ m}$$

$$L = 32,12 \text{ m}$$

$$\frac{L}{B} = \frac{32,12 \text{ m}}{8,1 \text{ m}} = 3,96 \approx 4$$

$$\frac{h}{L} = \frac{3,5 \text{ m}}{32,12 \text{ m}} = 0,12$$

Jolloin ulkopuolisen paineen C_p , nopeuspaineena q_h , määräytyvät seuraavasti:

- Tuulenpuoleinen seinä: $C_p = 0,7$

- Suojanpuoleinen seinä: $C_p = -0,2$
- Sivuseinät: $C_p = -0,7$.

Sisäpuolisen paineen positiivinen kerroin C_{pi} on $+ 0,20$ ja negatiivinen C_{pi} on $- 0,30$.

Tapaus 3. Tuuli päätyyn ja sisäinen positiivinen paine

Tuulenpuoleinen seinä:

$$w = C_p q = [0,7 - (+ 0,2)] \cdot 0,55 \text{ kN/m}^2 = 0,275 \text{ kN/m}^2$$

$q = 0,275 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,5 \text{ m} = 1,24 \text{ kN/m}$ (seinään päin ulkopuolelta vaikuttava voima).

Suojanpuoleinen seinä:

$$w = C_p q = [-0,2 - (+ 0,2)] \cdot 0,55 \text{ kN/m}^2 = -0,22 \text{ kN/m}^2$$

$$q = -0,22 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,5 \text{ m} = -0,99 \text{ kN/m} \text{ (seinästä poispäin vaikuttava voima).}$$

Sivuseinät:

$$w = C_p q = [-0,7 - (+ 0,2)] \cdot 0,55 \text{ kN/m}^2 = -0,495 \text{ kN/m}^2$$

$$q = -0,495 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,5 \text{ m} = -2,23 \text{ kN/m}.$$

Tapaus 4. Tuuli päätyyn ja sisäinen negatiivinen paine

Tuulenpuoleinen seinä:

$$w = C_p q = [0,7 - (-0,3)] \cdot 0,55 \text{ kN/m}^2 = 0,55 \text{ kN/m}^2$$

$$q = 0,55 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,5 \text{ m} = 2,5 \text{ kN/m} \text{ (seinään päin ulkopuolelta vaikuttava voima)}$$

Suojanpuoleinen seinä:

$$w = C_p q = [-0,2 - (-0,3)] \cdot 0,55 \text{ kN/m}^2 = -0,055 \text{ kN/m}^2$$

$$q = -0,055 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,5 \text{ m} = -0,25 \text{ kN/m} \text{ (seinästä poispäin vaikuttava voima)}$$

Sivuseinät.

$$w = C_p q = [-0,7 - (-0,3)] \cdot 0,55 \text{ kN/m}^2 = -0,22 \text{ kN/m}^2$$

$$q = -0,22 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,5 \text{ m} = -0,99 \text{ kN/m} \text{ (seinästä poispäin vaikuttava voima)}$$

5.2.4 Hyötykuormat

IV-konehuoneelle laskettiin myös hyötykuorma. Varsinaisia asetuksia hyötykuorman määrittämiseksi IV-konehuoneelle ei ole. Asuinrakennuksille hyötykuorma on Rak.Mk:n osan B1 /2/ mukaan $1,5 \text{ kN/m}^2$. Koska IV-konehuoneen koneet on otettu huomioon jo aikaisemmin, voidaan hyötykuorma arvioida suunnilleen samaksi. Näiden reunaehtojen puitteissa päädyin laskelmien yksinkertaistamiseksi laskemaan hyötykuorman lumikuorman arvolla $2,0 \text{ kN/m}^2$.

6 LIIMAPUUPALKIN MITOITUS

6.1 Liimapuun ominaisuudet /8/

Liimapuulla tarkoitetaan liimaamalla valmistettuja rakennusosia, joissa on vähintään neljä massiivisesta puusta valmistettua syysuunnaltaan yhdensuuntaista lamellia. Liimapuu, kuten puu yleensäkin, elää sekä kosteuden vaihtelun että pitkäaikaisen kuormituksen mukaan. Liimapuu kimmoisuuden ansiosta se kestää hyvin lyhytaikaisen kuorman, mutta saman kuormituksen kestäessä pidempään saattaa rakenne murtua. Lisäksi liimapuu on anisotrooppinen materiaali eli sen materiaaliominaisuudet ovat hyvin erilaiset puun syiden suuntaan kuin poikittain syitä vastaan. Esimerkiksi vetolujuus on noin 50 kertaa suurempi puun syiden suunnassa kuin poikittain syitä vastaan. Mitoituksessa onkin kiinnitettävä erityistä huomiota rakenteiden liitoskohtiin ja osiin, joissa voima muuttaa suuntaa, esimerkiksi harjapalkissa poikittainen jännitys.

Kosteus

Toimitettavien liimapuuelementtien kosteus on tavallisesti 12 prosenttia, mikä jokseenkin vastaa tasapainokosteutta kosteusluokassa 2. Puurakenteiden kosteus

vaihtelee jatkuvasti ilman kosteuden mukaisesti, joka voi olla eri vuodenaikoina hyvinkin erisuuruinen.

Sisätiloissa puu on kuivimmillaan yleensä talvella, ulkotilarakenteissa kesällä. Vaihtelu on 3–5 puun kosteuden prosenttiyksikköä sisätilarakenteissa ja ulkotilarakenteissa katoksen alla. Suojaamattomissa ulkotilarakenteissa vaihtelu on 8–10 prosenttiyksikköä. Liimapuu, kuten muukin puu, turpoaa kosteuden lisääntyessä ja kutistuu kosteuden vähentyessä. Liikkeet ovat monta kertaa suuremmat kohtisuoraan puunsyitä vastaan kuin niiden suunnassa: 0,2 prosenttia kohtisuoraan puunsyitä vastaan ja 0,01 prosenttia puunsyiden suunnassa jokaista kosteuden muutosprosenttia kohden. Kokemukseen perustuen voidaan laskea seuraavat liimapuun maksimaaliset kosteusliikkeet kosteusluokissa 2 ja 3:

- kohtisuoraan puunsyitä vastaan noin 10 mm/m
- puunsyiden suunnassa noin 0,5 mm/m.

Jos poikkisuuntaiset kosteusliikkeet estetään ulkoisilla tai sisäisillä pakkovoimilla, syysuuntaan kohtisuora kapasiteetti voi ylittyä. Sen seurauksena puu puristuu kasaan tai halkeilee./8 s.66/

Puun eläminen kosteuden vaikutuksesta on otettava huomioon liitoksia suunniteltaessa. Liitokset on suunniteltava siten, että palkin kuivuessakin kuorma siirtyy tuelle alareunan kosketuksen kautta eikä palkki jää roikkumaan liitososan varaan. Jos liitososat alkavat kantaa kuormaa palkin kuivuessa, muodostuu palkkiin poikkittaisia voimia ja seurauksena saattaa olla palkin halkeaminen. Esimerkiksi jos palkki on kiinnitetty tuella kyljistään teräsosiin, on teräsosaan tehtävä ruuville soikea reikä jolloin, puu pääsee kuivuessaan normaalisti laskeutumaan.

6.2 Palkin omapaino

Liimapuupalkki on lujuusluokkaa L40. Palkin leveys on 265 mm ja korkeus 2050...2400 mm.

Laskentakuormiin on lisättävä liimapuupalkin omapaino. Liimapuupalkin tiheys on 5 kN/m³.

$$Tilavuus = 2,050 \text{ m} \cdot 0,265 \text{ m} \cdot 33,1 \text{ m} + \frac{14,04 \text{ m} \cdot 0,35 \text{ m} \cdot 0,265 \text{ m}}{2} = 18,63 \text{ m}^3$$

$$Tilavuus / \text{m} = \frac{18,63 \text{ m}^3}{33,1 \text{ m}} = 0,563 \text{ m}^2$$

$$P_{aino} = 0,563 \text{ m}^2 \cdot 5 \text{ kN/m}^3 = 2,82 \text{ kN/m}$$

6.3 Käyttörajatila

Käyttörajatilassa liimapuupalkki mitoitetetaan käyttämällä Rak.Mk:n osan B10 /3 s.20/ taulukossa 8.5 esitettyjä sallittuja jännityksiä ja kimmomoduuleja. Kuormien varmuuskertoimet ovat 1,0. Rakenne mitoitetetaan lujuusluokassa L40, aikaluokka B ja kosteusluokka 1 (sisäkuiva).

Palkki mitoitetetaan tasakorkeana, $b \times h = 265 \times 2050$.

Taulukko 1. Liimapuun L40 laskenta-arvot käyttörajatilassa /3 s.20/.

TAULUKKO 8.5.		Liimapuun L40 sallitut jännitykset ja kimmomoduulit eri kuormien aikaluokissa ja kosteusluokissa. Yksikkö MN/m ² .											
		Aikaluokka											
		A				B				C			
		Kosteusluokka				Kosteusluokka				Kosteusluokka			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Lujuuksia laskettaessa													
Taivutus, σ_{tsall}		11,9	11,9	9,7	8,9	14,9	14,9	12,7	11,2	19,4	19,4	14,9	13,4
Puristus, σ_{crall}		11,5	11,5	9,4	8,7	14,4	14,4	12,3	10,8	18,8	18,8	14,4	13,0
Puristus, $\sigma_{c,lsall}$		1,7	1,7	1,4	1,2	2,1	2,1	1,8	1,6	2,7	2,7	2,1	1,9
Veto, σ_{tsall}		8,1	8,1	6,6	6,1	10,1	10,1	8,6	7,6	13,1	13,1	10,1	9,1
Veto, $\sigma_{c,lsall}$		0,15	0,15	0,12	0,12	0,19	0,19	0,16	0,14	0,25	0,25	0,19	0,17
Leikkaus, τ_{tsall}		0,92	0,92	0,75	0,69	1,15	1,15	0,98	0,87	1,50	1,50	1,15	1,04
Leikkaus, $\tau_{c,lsall}$		0,46	0,46	0,37	0,35	0,58	0,58	0,49	0,43	0,75	0,75	0,58	0,52
Kimmomoduuli ¹⁾ , E_k		5300	4600	4000	2300	6600	6600	5300	4000	8600	8600	6600	5300
Liukumoduuli, G_k		260	260	200	110	330	330	260	200	430	430	330	260
Muodonmuutoksia laskettaessa													
Kimmomoduuli, \bar{E}		6800	6000	5100	3000	8500	8500	6800	5100	11000	11000	8500	6800
Kimmomoduuli, \bar{E}_\perp		220	200	170	100	280	280	220	170	360	360	280	220
Liukumoduuli, \bar{G}		340	290	250	150	420	420	340	250	550	550	420	340

¹⁾ nurjahdusta laskettaessa

6.3.1 Kuormien suuruudet ja sijoittuminen

$$g_{\text{kok}} = 2,7 \text{ kN/m} + 1 \text{ kN/m} + 2,82 \text{ kN/m} + 0,6 \text{ kN/m} = 7,1 \text{ kN/m}$$

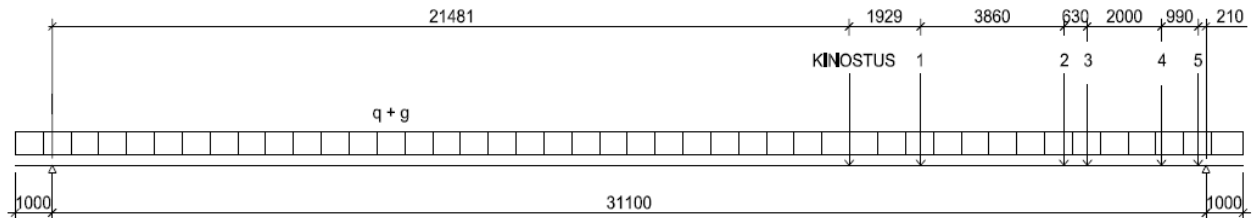
$$q_{\text{kok}} = 9 \text{ kN/m}$$

$$F_1 = G_1 + Q_1 = (12,3 + 15,1) \text{ kN} = 27,4 \text{ kN}$$

$$F_2 = G_2 + Q_2 = (10,3 + 33,7) \text{ kN} = 44 \text{ kN}$$

$$F_3 = F_4 = 6,3 \text{ kN}$$

$$F_5 = G_5 + Q_5 = (12,3 + 18,5) \text{ kN} = 30,8 \text{ kN}$$



Kuva 3. Havainnekaavio kuormien sijoittumisesta.

6.3.2 Taipuma

Kähkösen [7] mukaan, kun leikkausvoiman aiheuttama taipuma otetaan huomioon, saadaan taipuma yleisestä lausekkeesta

$$w = \int_0^L \left(\frac{M_0 \bar{M}}{EI} + \frac{V_0 \bar{V}}{J} \right) dx \quad (7)$$

missä, M_0 ja V_0 ovat kuormituksen aiheuttamia voimasuureita, \bar{M} ja \bar{V} ovat yksikkövoima, $\bar{F}=1$ aiheuttamat taivutusmomentti ja leikkausvoima palkin siinä pisteessä, jonka taipuma halutaan laskea ja \bar{EI} on palkin taivutusjäykkyys.

Suorakaiteelle taivutusjäykkyys (\bar{EI}) on

$$\bar{EI} = \frac{E b h^3}{12} \quad (8)$$

missä \bar{E} on palkin kimmomoduuli, b on palkin leveys ja h on palkin korkeus.

J on palkin leikkausjäykkyys, joka suorakaiteelle on

$$J = \frac{5}{6} \bar{G} A \quad (9)$$

missä \bar{G} ovat puutavaran liukumoduuli muodonmuutoksia laskettaessa ja $A = h \cdot b$ on poikkileikkauksen ala.

Lasketaan taipuma keskellä palkkia, jolloin voidaan käyttää tasaiselle kuormalle seuraavaa kaavaa

$$w = w_M + w_V = \frac{5pL^4}{384EI} + \frac{3pL^2}{20\bar{G}A} \quad (10)$$

missä p on tasainen kuorma, L on palkin jänneväli, \bar{EI} on palkin taivutusjäykkyys, \bar{G} ovat puutavaran liukumoduuli ja $A = h \cdot b$ on poikkileikkauksen ala.

Pistekuormista aiheutuva taipuma voidaan johtaa kaavasta, missä pisteessä $x_F = \beta \cdot L$ vaikuttavan pistekuorman F aiheuttama taipuma kohdassa $x = \alpha \cdot L$:

$$w_2 = \frac{\alpha(1-\beta)(2\beta - \beta^2 - \alpha^2)}{6} \cdot \frac{FL}{EI} + \alpha(1-\beta) \frac{FL}{J} \quad (11)$$

missä F on pistekuorma, L on palkin jänneväli, β on kuorman etäisyyden tuelta suhde jänneväliin.

Kun $\alpha = \frac{1}{2}$ ja palkki on suorakaide, saadaan kaava muotoon

$$w_2 = \frac{(1-\beta) \left(2\beta - \beta^2 - \frac{1}{4} \right)}{12} \cdot \frac{12FL}{Ebh^3} + \frac{1}{2} (1-\beta) \frac{FL}{J}$$

$$w_2 = (1-\beta) \left(2\beta - \beta^2 - \frac{1}{4} \right) \cdot \frac{FL}{Ebh^3} + (1-\beta) \frac{FL}{2J}$$

Laskenta

$$\bar{EI} = \frac{8500 \text{ MN/m}^2 \cdot 0,265 \text{ m} \cdot (2,05 \text{ m})^3}{12} = 1617 \text{ MNm}^2$$

$$J = \frac{5}{6} \cdot 420 \text{ MN/m}^2 \cdot 2,05 \text{ m} \cdot 0,265 \text{ m} = 190 \text{ MN}$$

Taipuma tasaisella kuormalla:

$$\begin{aligned} w_{\text{tas}} &= \frac{5 \cdot 16,1 \cdot 10^{-3} \text{ MN/m} \cdot (31,1 \text{ m})^4}{384 \cdot 1617 \text{ MNm}^2} + \frac{3 \cdot 16,1 \cdot 10^{-3} \text{ MN/m} \cdot (31,1 \text{ m})^2}{20 \cdot 420 \text{ MN/m}^2 \cdot 2,05 \text{ m} \cdot 0,265 \text{ m}} \\ &= 0,121 \text{ m} + 0,01 \text{ m} \\ &= 0,131 \text{ m} \\ &= 131 \text{ mm} \end{aligned}$$

Pistekuormista aiheutuvat taipumat:

$$\begin{aligned} w_{2,\text{kinostus}} &= \left(1 - \frac{21,5}{31,1}\right) \left(2 \frac{21,5}{31,1} - \left[\frac{21,5}{31,1}\right]^2 - \frac{1}{4}\right) \cdot \frac{25,92 \cdot 10^{-3} \text{ MN} \cdot 31,1 \text{ m}}{12 \cdot 8500 \text{ MN/m}^2 \cdot 0,265 \text{ m} \cdot (2,05 \text{ m})^3} \\ &\quad + \left(1 - \frac{21,5}{31,1}\right) \frac{25,92 \cdot 10^{-3} \text{ MN} \cdot 31,1 \text{ m}}{2 \cdot 190 \text{ MN}} = 0,66 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_{2,F1} &= \left(1 - \frac{23,4}{31,1}\right) \left(2 \frac{23,4}{31,1} - \left[\frac{23,4}{31,1}\right]^2 - \frac{1}{4}\right) \cdot \frac{27,4 \cdot 10^{-3} \text{ MN} \cdot 31,1 \text{ m}}{8500 \text{ MN/m}^2 \cdot 0,265 \text{ m} \cdot (2,05 \text{ m})^3} \\ &\quad + \left(1 - \frac{23,4}{31,1}\right) \frac{27,4 \cdot 10^{-3} \text{ MN} \cdot 31,1 \text{ m}}{2 \cdot 190 \text{ MN}} = 0,53 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_{2,F2} &= \left(1 - \frac{27,1}{31,1}\right) \left(2 \frac{27,1}{31,1} - \left[\frac{27,1}{31,1}\right]^2 - \frac{1}{4}\right) \cdot \frac{44 \cdot 10^{-3} \text{ MN} \cdot 31,1 \text{ m}}{8500 \text{ MN/m}^2 \cdot 0,265 \text{ m} \cdot (2,05 \text{ m})^3} \\ &\quad + \left(1 - \frac{27,1}{31,1}\right) \frac{44 \cdot 10^{-3} \text{ MN} \cdot 31,1 \text{ m}}{2 \cdot 190 \text{ MN}} = 0,47 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_{2,F3} &= \left(1 - \frac{27,9}{31,1}\right) \left(2 \frac{27,9}{31,1} - \left[\frac{27,9}{31,1}\right]^2 - \frac{1}{4}\right) \cdot \frac{6,3 \cdot 10^{-3} \text{ MN} \cdot 31,1 \text{ m}}{8500 \text{ MN/m}^2 \cdot 0,265 \text{ m} \cdot (2,05 \text{ m})^3} \\ &\quad + \left(1 - \frac{27,9}{31,1}\right) \frac{6,3 \cdot 10^{-3} \text{ MN} \cdot 31,1 \text{ m}}{2 \cdot 190 \text{ MN}} = 0,06 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 w_{2,F4} &= \left(1 - \frac{29,9}{31,1}\right) \left(2 \frac{29,9}{31,1} - \left[\frac{29,9}{31,1}\right]^2 - \frac{1}{4}\right) \cdot \frac{6,3 \cdot 10^{-3} \text{ MN} \cdot 31,1 \text{ m}}{8500 \text{ MN/m}^2 \cdot 0,265 \text{ m} \cdot (1,95 \text{ m})^3} \\
 &\quad + \left(1 - \frac{29,9}{31,1}\right) \frac{6,3 \cdot 10^{-3} \text{ MN} \cdot 31,1 \text{ m}}{2 \cdot 190 \text{ MN}} = 0,02 \text{ mm} \\
 w_{2,F5} &= (1-1) \left(2 \cdot 1 - 1^2 - \frac{1}{4}\right) \cdot \frac{30,8 \cdot 10^{-3} \text{ MN} \cdot 31,1 \text{ m}}{8500 \text{ MN/m}^2 \cdot 0,265 \text{ m} \cdot (1,95 \text{ m})^3} \\
 &\quad + (1-1) \frac{30,8 \cdot 10^{-3} \text{ MN} \cdot 31,1 \text{ m}}{2 \cdot 190 \text{ MN}} = 0 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Tästä voimme päätellä, että pistekuormat eivät vaikuta merkittävästi liimapuupalkin taipumaan.

Taipuma siis yhteensä palkin keskellä:

$$w_{\text{kok}} = 131 \text{ mm} + 2 \text{ mm} = 133 \text{ mm}$$

Sallittu taipuma:

$$w_{\text{sall}} = \frac{L}{200} = \frac{31100 \text{ mm}}{200} = 155,5 \text{ mm} \geq w_{\text{kok}}$$

Vaikka taipumat ovat sallittujen rajoissa, määrätään palkille esikorotus.

Taipuma pysyvällä kuormalla:

$$\begin{aligned}
 w_{\text{tas}} &= \frac{5 \cdot 7,1 \cdot 10^{-3} \text{ MN/m} \cdot (31,1 \text{ m})^4}{384 \cdot 1617 \text{ MNm}^2} + \frac{3 \cdot 7,1 \cdot 10^{-3} \text{ MN/m} \cdot (31,1 \text{ m})^2}{20 \cdot 420 \text{ MN/m}^2 \cdot 2,05 \text{ m} \cdot 0,265 \text{ m}} \\
 &= 0,054 \text{ m} + 0,0045 \text{ m} \\
 &= 0,0585 \text{ m} \\
 &\approx 60 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Olle Carlingin /8/ mukaan pitkille jänneväleille suositellaan esikorotuksen suuruudeksi 50 % sallitusta taipumasta eli

$$Esikorotus : 0,5 \cdot w_{sall} = 0,5 \cdot 155,5 \text{ mm} \approx 77,5 \text{ mm}$$

Esikorotuksen suuruudeksi valitaan 80 mm.

6.4 Murtorajatila

Liimapuupalkki mitoitetaan murtorajatilassa käyttämällä Rak.Mk:n osan B10 /3/ taulukoissa 4.2 esitettyjä korjauskertoimia sekä taulukossa 4.3 esitettyjä ominaislujuuksia ja -kimmomoduuleja. Murtorajatilassa pysyvien kuormien kerroin on 1,2 ja muuttuvien kuormien kerroin 1,6. Palkki mitoitetaan tasakorkeana, $b \times h = 265 \times 2050$.

Taulukko 2. Korjauskertoimet eri aika- ja kosteusluokkayhdistelmille aikaluoka B ja kosteusluokan 1 suhteen/3 s.7/.

TAULUKKO 4.2.

Korjauskertoimet eri aika- ja kosteusluokkayhdistelmille aikaluokan B ja kosteusluokan 1 suhteen.

Aika- luokka	Lujuuksia laskettaessa			Muodonmuutoksia laskettaessa			
	Kosteusluokka			Kosteusluokka			
	1 ja 2	3	4	1	2	3	4
A	0,8	0,65	0,6	0,8	0,7	0,6	0,35
B	1	0,85	0,75	1	1	0,8	0,6
C	1,3	1	0,9	1,3	1,3	1	0,8

Taulukko 3. Liimapuun laskentalujuudet murtorajatilassa /3 s.7/.

TAULUKKO 4.3.

Liimapuun ominaislujuudet ja -kimmomoduulit sekä keskimääräiset kimmomoduulit aikaluokassa B ja kosteusluokassa 1. Yksikkö MN/m².

Lujuusluokka	L40	L30
Lujuuksia laskettaessa		
Taivutus, f_{bk}	31	25
Puristus, f_{ck}	30	24
Puristus, $f_{c,⊥k}$	4,3	3,5
Veto, f_{tk}	21	17
Veto, $f_{t,⊥k}$	0,4	0,4
Leikkaus, f_{vk}	2,4	2,4
Leikkaus, $f_{v,⊥k}$	1,2	1,2
Kimmomoduuli, E_k	6600	5500
Liukumoduuli, G_k	330	270
Muodonmuutoksia laskettaessa		
Kimmomoduuli, \bar{E}	8500	7000
Kimmomoduuli, \bar{E}_{\perp}	280	230
Liukumoduuli, \bar{G}	420	350

Liimapuupalkin ylittäessä korkeuden 300 mm vähennetään taivutuskapasiteettia kertoimella C_f , joka saadaan kaavasta

$$C_f = \left(\frac{300}{h} \right)^{\frac{1}{9}} \quad (6)$$

jossa h = palkin korkeus (mm). /3/

6.4.1 Kuormat murtorajatilassa

Rak.Mk:n osan B1 /2/ mukaan murtorajatilan tasainen kuorma (p_d) on

$$p_d = 1,2 \cdot g_{\text{kok}} + 1,6 \cdot q_{\text{kok}} \quad (12)$$

missä g_{kok} on tasainen pysyvä kuorma ja q_{kok} on tasainen muuttuva kuorma.

Tällöin saadaan, että $p_d = 1,2 \cdot 7,1 \text{ kN/m} + 1,6 \cdot 9 \text{ kN/m} = 23 \text{ kN/m}$.

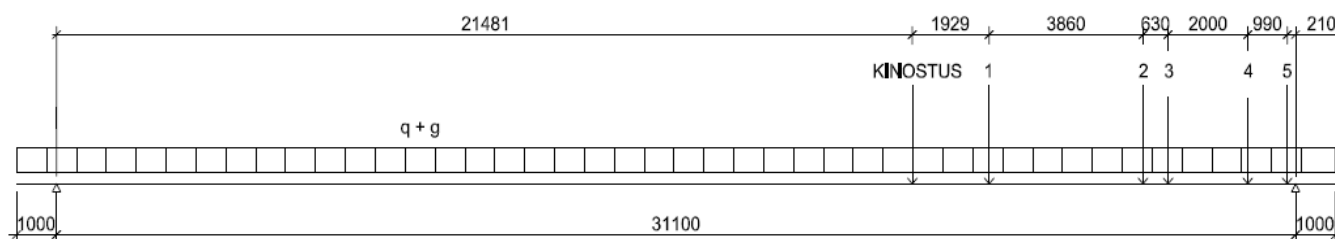
$$F_{d1} = G_{d1} + Q_{d1} = (1,2 \cdot 12,3 + 1,6 \cdot 15,1) \text{ kN} = 38,92 \text{ kN}$$

$$F_{d2} = (1,2 \cdot 10,3 + 1,6 \cdot 33,7) \text{ kN} = 66,3 \text{ kN}$$

$$F_{d3} = F_{d4} = 1,2 \cdot 6,3 \text{ kN} = 7,56 \text{ kN}$$

$$F_{d5} = (1,2 \cdot 12,3 + 1,6 \cdot 18,5) \text{ kN} = 44,36 \text{ kN}$$

$$F_{d, \text{kinostus}} = 1,6 \cdot 25,92 \text{ kN} = 41,47 \text{ kN}$$



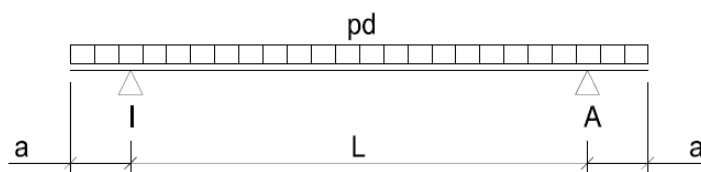
Kuva 4. Havainnekuva kuormien sijoittumisesta.

6.4.2 Momentti

Tasaisen kuorman aiheuttama momentti ($M_{d, \text{tas}}$) saadaan kaavalla

$$M_{d, \text{tas}} = \frac{p_d \cdot L^2}{2} \left(\frac{1}{4} - \frac{a^2}{L^2} \right) \quad (13)$$

missä p_d saadaan kaavalla 12, L on palkin jänneväli ja a on jännevälin ylittävä osuus. /10/



Kuva 5. Havainnekuva tasaisen kuorman sijoittumisesta. Kuvassa I = tuki moduulilinjalla I ja A = tuki moduulilinjalla A.

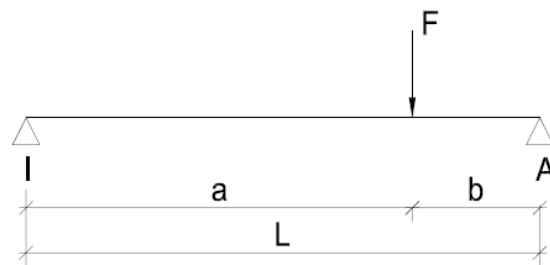
Tällöin saadaan, että

$$M_{d,tas} = \frac{p_d \cdot L^2}{2} \left(\frac{1}{4} - \frac{a^2}{L^2} \right) = \frac{23 \text{ kN/m} \cdot (31,1 \text{ m})^2}{2} \left(\frac{1}{4} - \frac{(1 \text{ m})^2}{(31,1 \text{ m})^2} \right) = 2769 \text{ kNm}.$$

Pistekuormista aiheutuva momentti ($M_{d,1-5,kinostus}$) saadaan kaavalla

$$M_{d,1-5,kinostus} = \frac{F_d \cdot a \cdot b}{L} \quad (14)$$

missä F_d on pistekuorma, joka on laskettu kohdassa 6.5.1, a on pistekuorman etäisyys tuelta I ja b on pistekuorman etäisyys tuelta A. /10/



Kuva 6. Havainnekuva pistekuorman sijoittumisesta. Kuvassa I = tuki moduulilinjalla I ja A = tuki moduulilinjalla A.

Tällöin

$$M_{d,1} = \frac{38,92 \text{ kN} \cdot 23,1 \text{ m} \cdot 8 \text{ m}}{31,1 \text{ m}} = 231 \text{ kNm}$$

$$M_{d,2} = \frac{66,3 \text{ kN} \cdot 27,1 \text{ m} \cdot 4 \text{ m}}{31,1 \text{ m}} = 231 \text{ kNm}$$

$$M_{d,3} = \frac{7,56 \text{ kN} \cdot 27,9 \text{ m} \cdot 3,2 \text{ m}}{31,1 \text{ m}} = 21,7 \text{ kNm}$$

$$M_{d,3} = \frac{7,56 \text{ kN} \cdot 29,9 \text{ m} \cdot 1,2 \text{ m}}{31,1 \text{ m}} = 8,7 \text{ kNm}$$

$$M_{d,5} = \frac{44,36 \text{ kN} \cdot 31,1 \text{ m} \cdot 0 \text{ m}}{31,1 \text{ m}} = 0 \text{ kNm}$$

$$M_{d,1-5} = 231 \text{ kNm} + 231 \text{ kNm} + 21,7 \text{ kNm} + 8,7 \text{ kNm} = 492,4 \text{ kNm}$$

Lumikuorman kinostus saadaan laskettua kaavalla 9.

$$M_{d,kinostus} = \frac{F_{d,kinostus} \cdot a \cdot b}{L} = \frac{41,472 \text{ kN} \cdot 21,481 \text{ m} \cdot 9,619 \text{ m}}{31,1 \text{ m}} = 275,5 \text{ kNm}$$

Yhteensä:

$$M_d = 2769 \text{ kNm} + 492,4 \text{ kNm} + 275,5 \text{ kNm} = 3537 \text{ kNm}$$

6.4.3 Taivutus ja kiepahdus

Palkin taivutuskestävyys saadaan selville

$$\sigma_b = \frac{6M_d}{bh^2} \leq k_k f_b \quad (15)$$

jossa M_d = laskentamomentti, f_b = laskentataivutuslujuus ja k_k = kerroin joka ottaa huomioon kiepahtamisen.

Palkin vaadittava korkeus (h_b) saadaan kaavalla

$$h_b = \sqrt{\frac{6M_d}{bk_k f_m}} \quad (16)$$

missä M_d = laskentamomentti, b = palkin leveys, f_b = laskentataivutuslujuus ja k_k = kerroin joka ottaa huomioon kiepahtamisen.

Kerroin k_k saadaan Rak.Mk:n osan B10 taulukosta 5.2 /3 s.8/.

Kertoimeen vaikuttava apusuure α_k saadaan lausekkeella

$$\alpha_k = \frac{k_{k1}}{b} \sqrt{h \cdot L_k} \quad (17)$$

missä k_{k1} saadaan Rak.Mk:n osan B10 taulukosta 5.3 /3 s.8/, b on palkin leveys, h on palkin korkeus ja L_k on palkin kiertymisen estävien sivutukien väli.

Kokeillaan ensin palkin kestävyys ilman sivuttaistukia.

Tällöin $k_{k1} = 0,070$, $b = 0,265$ m, $h = 2,05$ m ja $L_k = 31,1$ m.

$$\alpha_k = \frac{0,07}{0,265} \sqrt{2,05 \text{ m} \cdot 31,1 \text{ m}} = 2,11$$

Tällöin taulukon 5.2 mukaan

$$k_{k1} = \frac{1}{\alpha_k^2} = \frac{1}{2,11^2} = 0,2246$$

$$M_d = 3441 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} f_b &= k_k \cdot C_f \cdot \frac{f_{bk} \cdot 1}{1,3} = \left(\frac{300}{h} \right)^{\frac{1}{9}} \cdot \frac{f_{bk} \cdot 1}{1,3} = \left(\frac{300}{2050} \right)^{\frac{1}{9}} \frac{31 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2}{1,3} \\ &= 0,2246 \cdot 0,81 \cdot 23846 \text{ kN/m}^2 \\ &= 4338 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$b = 0,265 \text{ m}$$

$$h = 2,05 \text{ m}$$

$$\sigma_b = \frac{6 \cdot 3537 \text{ kNm}}{0,265 \text{ m} \cdot (2,05 \text{ m})^2} \leq k_k \cdot f_m$$

$$\sigma_b = 19056 \text{ kN/m}^2 > 4338 \text{ kN/m}^2$$

Tällöin vaadittava palkin korkeus olisi

$$h_b = \sqrt{\frac{6 \cdot 3537 \text{ kNm}}{0,265 \text{ m} \cdot 4338 \text{ kN/m}^2}} = 4,30 \text{ m}$$

Rakenne on vinotuettava. Laitetaan vinositeet 4,5 metrin jaolle. Jos jako ei mene tasan, tihennetään jakoa keskellä.

Tällä periaatteella $k_{k1}=0,045$, $b = 0,265$ m, $h = 2,05$ m ja $L_k = 4,5$ m

$$\alpha_k = \frac{0,045}{0,265} \sqrt{2,05 \text{ m} \cdot 4,5 \text{ m}} = 0,52$$

Tällöin taulukon 5.2 mukaan $k_{k1} = 1$.

$$\begin{aligned} f_b &= C_f \cdot \frac{f_{bk} \cdot 1}{1,3} = \left(\frac{300}{h} \right)^{\frac{1}{9}} \cdot \frac{f_{bk} \cdot 1}{1,3} = \left(\frac{300}{2050} \right)^{\frac{1}{9}} \frac{31 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2}{1,3} \\ &= 0,81 \cdot 23846 \text{ kN/m}^2 \\ &= 19315 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$b = 0,265 \text{ m}$$

$$h = 2,05 \text{ m}$$

$$\sigma_b = \frac{6 \cdot 3537 \text{ kNm}}{0,265 \text{ m} \cdot (2,05 \text{ m})^2} \leq 1 \cdot f_m$$

$$\sigma_b = 19065 \text{ kN/m}^2 \leq 1 \cdot f_m$$

$$h_b = \sqrt{\frac{6 \cdot 3537 \text{ kNm}}{0,265 \text{ m} \cdot 1 \cdot 19315 \text{ kN/m}^2}} = 2,036 \text{ m}$$

6.4.3.1 Vinon pinnan vaikutus

Toinen puoli liimapuusta tehdään korkeudeltaan muuttuvaksi kallistuksen aikaansaamiseksi. Kaltevan pinnan vaikutuksesta taivutuslujuutta vähennetään, koska katkaistun reunan taivutusjännitykset ovat yhdensuuntaiset reunan kanssa ja siten muodostavat kulman α puunsyihin nähden. Myös taivutusjännitysten jakautuminen muuttuu verrattuna poikkileikkaukseltaan tasakorkeaan palkkiin.

Laskentalujuus saadaan kertomalla puunsyiden suuntainen taivutuslujuus f_b vähennyskertoimella k_α :

$$k_\alpha = \frac{1}{\frac{f_b}{f_\perp} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (18)$$

jossa $f_b = C_F \frac{f_{bk}}{1,3} = 0,79 \frac{31 \text{ MN/m}^2}{1,3} = 18,838 \text{ MN/m}^2$, kun $h = 2400 \text{ mm}$, $f_\perp = f_{t\perp}$, kun

katkaisu on vedetyllä puolella, $f_\perp = f_{c\perp}$, kun katkaisu on puristetulla puolella. /8/

Tässä tapauksessa katkaisu on puristetulla puolella, joten

$$f_\perp = f_{c\perp} = \frac{4,3 \text{ MN/m}^2}{1,3} = 3,3 \text{ MN/m}^2$$

ja tällöin

$$k_\alpha = \frac{1}{\frac{18,838 \text{ MN/m}^2}{3,3 \text{ MN/m}^2} \sin^2 1,4 + \cos^2 1,4} = 0,997$$

Tarkistetaan taivutuskestävyys kohdissa, joissa palkin korkeus tulee olemaan alle peruskorkeuden (2,05 metriä).

Vaadittava korkeus pisteessä 10,0 m (2,05 m):

$$h_m = \sqrt{\frac{6 \cdot 2700 \text{ kNm}}{0,265 \text{ m} \cdot 0,997 \cdot 0,81 \cdot 23846 \text{ kN/m}^2}} = 1,78 \text{ m}$$

Vaadittava korkeus pisteessä 8,0 m (1,95 m):

$$h_m = \sqrt{\frac{6 \cdot 2100 \text{ kNm}}{0,265 \text{ m} \cdot 0,997 \cdot 0,81 \cdot 23846 \text{ kN/m}^2}} = 1,57 \text{ m}$$

Vaadittava korkeus pisteessä 4,0 m (1,9 m):

$$h_m = \sqrt{\frac{6 \cdot 1480 \text{ kNm}}{0,265 \text{ m} \cdot 0,997 \cdot 0,81 \cdot 23846 \text{ kN/m}^2}} = 1,32 \text{ m}$$

6.4.3.2 Kiepahdustukien mitoitus

Kohdassa 7.1.5 todettiin, että rakenne ei kestä kiepahdusta ellei sen kiepahtamista tueta. Vinositeet mitoitetaan puristavalle voimalle (N_d), mukaan kaavasta

$$N_d = (1 - k_k) \frac{M_d}{h} \quad (19)$$

missä k_k on kerroin, joka saadaan taulukosta 5.3, M_d on palkkiin vaikuttava lastentamommentti ja h on palkin korkeus. /3/

Tässä tapauksessa

$$N_d = (1 - 0,07) \frac{3537 \text{ kNm}}{2,05} = 1605 \text{ kN}.$$

Vinositeita tulee palkille kahdeksassa rivissä. Jokaiseen väliin tulee puristuspuolelle liimapuupalkki, jonka korkeus olisi 115 mm, leveys 115 mm, lujuusluokka L40. Viiden palkin nurjahduspituus 4235 mm. Viiteen liimapuupalkkiin naulataan molemmille puolille vinopuu, jonka leveys olisi 50 mm, korkeus 150 mm, lujuusluokka T24 ja nurjahduspituus 2246 mm. Kolme liimapuupalkkirakennetta palosuojataan molemmilta puolilta ja palkki tuetaan keskeltä, jolloin sen nurjahduspituus on 2118 mm.

Rakenteessa, jossa on mukana vinopuu, jokaisen sauvan tulisi kestää voima

$$\frac{N_d}{(8 \cdot 6)} = 33,5 \text{ kN}.$$

Kaikki vinositeet lasketaan hoikkina puristettuina sauvoina. Ensin tarkastetaan poikkileikkauksen puristuskestävyys kaavalla

$$f_c = \frac{b \cdot h \cdot f_{ck}}{1,3} \quad (20)$$

missä, f_{ck} on sauvan puristuskestävyys, b on sauvan leveys ja h on sauvan korkeus.

Kestävyys, kun on huomioitu hoikkuus, saadaan kaavalla

$$\frac{|\sigma_c|}{k_s \cdot f_c} \leq 1 \quad (21)$$

missä σ_c on puristusjännitys ja kerroin k_s saadaan Rak.Mk:n osan B10:n taulukosta 5.3 /3 s.9/.

Lasketaan puristetun rakenteen hoikkuus (λ) on

$$\lambda = \frac{L_c}{i} \quad (22)$$

missä i on poikkileikkauksen jäyhyysäde ja L_c on sauvan nurjahduspituus.

Poikkileikkauksen jäyhyysäde (i) saadaan kaavalla

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{h^2}{12}} \quad (23)$$

missä I on sauvan jäyhyysmomentti, A on sauvan halkaisijan pinta-ala ja h on sauvan korkeus

Liimapuun puristuskestävyys ($b \times h = 115 \times 115$, $L_c = 4,235$ m).

$$f_c = \frac{0,115 \text{ m} \cdot 0,115 \text{ m} \cdot 30 \text{ MN/m}^2}{1,3} = 305,2 \text{ kN}$$

$$i = \sqrt{\frac{(0,115 \text{ m})^2}{12}} = 0,033$$

$$\lambda = \frac{4,235 \text{ m}}{0,033 \text{ m}} = 128,33 \rightarrow k_s = 0,125 \text{ (käytetään alkuvinoutena } \frac{1}{200} \text{)}$$

Tällöin

$$\frac{|33,5 \text{ kN}|}{0,125 \cdot 305,2 \text{ kN}} = 0,88 \leq 1$$

Poikkileikkaus kestää.

Sahatavaran puristuskestävyys ($b \times h = 50 \times 100$, $L_c = 2,246 \text{ m}$).

$$f_c = \frac{0,50 \text{ m} \cdot 0,150 \text{ m} \cdot 19 \text{ MN/m}^2}{1,3} = 109,6 \text{ kN}$$

$$i = \sqrt{\frac{(0,150 \text{ m})^2}{12}} = 0,043$$

$$\lambda = \frac{2,246 \text{ m}}{0,043 \text{ m}} = 52,2 \rightarrow k_s = 0,49 \text{ (käytetään alkuvinoutena } \frac{1}{200} \text{)}$$

Tällöin

$$\frac{|33,5 \text{ kN}|}{0,49 \cdot 109,6 \text{ kN}} = 0,63 \leq 1$$

Poikkileikkaus kestää.

Rakenteessa, joka on tuettu keskeltä, liimapuusauvan tulisi kestää voima

$$\frac{N_d}{(8 \cdot 2)} = 100,3 \text{ kN}.$$

Liimapuun puristuskestävyys ($b \times h = 115 \times 115$, $L_c = 2,1 \text{ m}$).

$$f_c = \frac{0,115 \text{ m} \cdot 0,115 \text{ m} \cdot 30 \text{ MN/m}^2}{1,3} = 305,2 \text{ kN}$$

$$i = \sqrt{\frac{(0,115 \text{ m})^2}{12}} = 0,033$$

$$\lambda = \frac{2,1 \text{ m}}{0,033 \text{ m}} = 63,4 \rightarrow k_s = 0,36 \text{ (käytetään alkuvinoutena } \frac{1}{200} \text{)}$$

Tällöin

$$\frac{|100,3 \text{ kN}|}{0,36 \cdot 305,2 \text{ kN}} = 0,91 \leq 1$$

Poikkileikkaus kestää hyvin.

6.5 Poikittainen jännitys

Pystysuoraan kaltevaan liimapuupalkkiin vaikuttavat kuormat jakaantuvat kaltevan pinnan suuntaisiksi ja muodostavat kaltevaan pintaan poikittaisia jännityksiä.

Puulla on heikoin lujuus kohtisuoraan puunsyytä vastaan. Lujuuteen vaikuttavat halkeamat, oksat ja kasvuvaihtelut, erityisesti kevätpuu ja sen vaaleiden vuosirenkaiden pehmeät osat. Poikittaisvetolujuutta käytetään vain alueella, jossa poikittaiset vetojännitykset esiintyvät sekundäärinen vaikutusten seurauksena, muun muassa rei'issä ja lovissa, harjapalkin harjalla ja kaarevissa momentilla kuormitetuissa rakenne-elementeissä. Tutkimuksissa on osoitettu, että poikittainen vetolujuus riippuu eniten kuormitetun puutilavuuden suuruudesta eli kuormitustyyppistä ja rakenneosan geometrisestä muodosta. /8 s.65./

Vaikka liimapuupalkki ei varsinaisesti toimi harjapalkkina, tarkistetaan poikittainen jännitys palkin korkeimmassa kohdassa.

Tasaisesti kuormitetuilla palkeilla, voidaan arvo k_{dis} ja V ottaa Liimapuukäsikirjan /8/ taulukosta 4.4. V :n ei tarvitse olla kuitenkaan suurempi kuin $2V_b / 3$, jossa V_b on palkin kokonaistilavuus.

Poikittaisen jännityksen mitoitusehto on

$$\sigma_{t\perp} = 0,2 \cdot \tan \alpha \cdot \frac{M_d}{b \cdot h^2} \leq k_{vol} \cdot f_{t\perp} \quad (24)$$

missä α on kattokaltevuus, M_d on maksimimomentti, b palkin leveys ja h palkin korkeus.

Tässä tapauksessa kulma on hyvin hankala määritellä, mutta kokeillaan arvoilla $\alpha=10^\circ$, $M_d = 3,441 \text{ MN/m}^2$, $b = 0,265 \text{ m}$ ja $h = 2,4 \text{ m}$.

Tällöin poikittainen jännitys

$$\sigma_{t\perp} = 0,2 \cdot \tan 10^\circ \cdot \frac{3,537 \text{ MN/m}^2}{0,265 \text{ m} \cdot (2,4 \text{ m})^2} = 0,08 \text{ MN/m}^2.$$

Määräyksissä annettua perusarvoa on korjattava käyttämällä esimerkiksi korjauskerrointa k_{vol}

$$k_{vol} = k_{dis} \cdot \left(\frac{V_0}{V} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (25)$$

jossa m on vakio, joka määritellään kokeellisesti, usein asetetaan $m=5$, V_0 on viitetilavuus (tavallisesti $V_0 = 0,01 \text{ m}^3$), V on karakteristinen tilavuus, joka määritellään rakenne-elementin geometrian mukaan ja k_{dis} on vakio, joka ottaa huomioon jännitysjakauman palkissa. /8/

Tässä tapauksessa saadaan:

$$k_{vol} = 1,4 \cdot \left(\frac{0,01 \text{ m}^3}{0,265 \text{ m} \cdot (2,4 \text{ m})^2} \right)^{\frac{1}{5}} = 0,51$$

$$\begin{aligned} k_{vol} \cdot f_{t\perp} &= 0,51 \cdot \frac{0,4 \text{ MN/m}^2}{1,3} = 0,51 \cdot 0,308 \text{ MN/m}^2 = 0,157 \text{ MN/m}^2 \\ &\geq \sigma_{t\perp} = 0,08 \text{ MN/m}^2 \end{aligned}$$

Laskelman mukaan poikittainen jännitys kestää.

Todellisuudessa voiman siirtymiskulma on hyvin hankala määritellä. Eli tämän laskelman perusteella ei voida silti olla varmoja, kestäkö yläkolmio halkeamatta. Tällaiset paikat ovat hyvin hankala määritellä ja siksi niille ei yleensä kannata laskea kantavuutta.

6.5.1 Tukireaktiot

Tasaisesta kuormasta aiheutuva tukivoima ($R_{I,A,tas,d}$) saadaan lausekkeella

$$R_{I,A,tas,d} = \frac{p_d}{2}(L + 2a) \quad (26)$$

missä p_d laskentakuorma, L on palkin jänneväli ja a on jännevälin ylittävä osuus.
/10/

Tällöin saadaan, että

$$R_{I,A,tas,d} = \frac{p_d}{2}(L + 2a) = \frac{23 \text{ kN}}{2}(31,1 \text{ m} + 2 \cdot 1 \text{ m}) = 381 \text{ kNm}.$$

Pistekuormista aiheutuvat tuki- ja leikkausvoimat tuelle I saadaan kaavalla

$$R_{I,piste,d} = \frac{F_d \cdot b}{L} \quad (27)$$

missä F_d pistekuorma, joka on laskettu kohdassa joka on laskettu kohdassa 6.5.1,
 b on pistekuorman etäisyys tuelta A. /10/

$$R_{I,1,piste,d} = \frac{38,92 \text{ kN} \cdot 8 \text{ m}}{31,1 \text{ m}} = 10 \text{ kN}$$

$$R_{I,2,piste,d} = \frac{66,3 \text{ kN} \cdot 4 \text{ m}}{31,1 \text{ m}} = 8,5 \text{ kN}$$

$$R_{I,3,piste,d} = \frac{7,56 \text{ kN} \cdot 3,2 \text{ m}}{31,1 \text{ m}} = 0,8 \text{ kN}$$

$$R_{I,4,piste,d} = \frac{7,56 \text{ kN} \cdot 1,2 \text{ m}}{31,1 \text{ m}} = 0,3 \text{ kN}$$

$$R_{I,5,piste,d} = \frac{44,36 \text{ kN} \cdot 0 \text{ m}}{31,1 \text{ m}} = 0 \text{ kN}$$

$$R_{I,piste,d} = 10 \text{ kN} + 8,5 \text{ kN} + 0,8 \text{ kN} + 0,3 \text{ kN} = 19,6 \text{ kN}$$

Pistekuormista aiheutuvat tuki- ja leikkausvoimat tuelle A saadaan kaavalla

$$R_{A,\text{piste},d} = \frac{F_d \cdot a}{L} \quad (28)$$

missä F_d on pistekuorma, joka on laskettu kohdassa 6.5.1, a on pistekuorman etäisyys tuelta I.

$$R_{A,1,\text{piste},d} = \frac{38,92 \text{ kN} \cdot 23,1 \text{ m}}{31,1 \text{ m}} = 29 \text{ kN}$$

$$R_{A,2,\text{piste},d} = \frac{66,3 \text{ kN} \cdot 27,1 \text{ m}}{31,1 \text{ m}} = 57,8 \text{ kN}$$

$$R_{A,3,\text{piste},d} = \frac{7,56 \text{ kN} \cdot 27,9 \text{ m}}{31,1 \text{ m}} = 6,8 \text{ kN}$$

$$R_{I,4,\text{piste},d} = \frac{7,56 \text{ kN} \cdot 29,9 \text{ m}}{31,1 \text{ m}} = 7,3 \text{ kN}$$

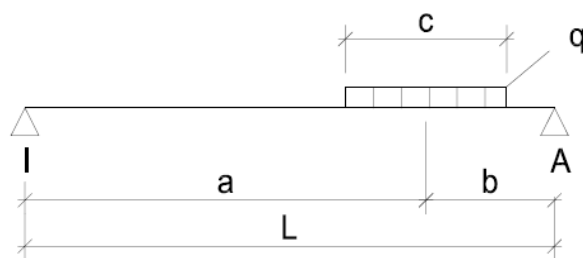
$$R_{I,5,\text{piste},d} = \frac{44,36 \text{ kN} \cdot 31,1 \text{ m}}{31,1 \text{ m}} = 44,36 \text{ kN}$$

$$R_{I,\text{piste},d} = 29 \text{ kN} + 57,8 \text{ kN} + 6,8 \text{ kN} + 7,3 \text{ kN} + 44,36 \text{ kN} = 145,3 \text{ kN}$$

Koska IV-koneen alle ei tule hyötykuormaa, voidaan toisen pään tukivoimaan tehdä sen suuruinen pienennys. Voima ($R_{A,q}$) saadaan kaavalla

$$R_{A,q,d} = 1,6 \cdot \frac{q \cdot a \cdot c}{L} \quad (29)$$

missä q on tasainen kuorma, a on kuormitusalueen keskipisteet etäisyys tuelle ja c on kuormitusalueen leveys. /10/



Kuva 7. Havainnekuva tukireaktion muodostumisesta.

Tällöin saadaan, että

$$R_{A,q,d} = 1,6 \cdot \frac{q \cdot a \cdot c}{L} = 1,6 \cdot \frac{9 \text{ kN/m} \cdot 29,5 \text{ m} \cdot 3,2 \text{ m}}{31,1 \text{ m}} = 43,7 \text{ kN}.$$

Lumikuorman kinostuksen aiheuttama tukireaktio saadaan laskettua tuelle I kaavalla 22 ja tuelle A kaavalla 23.

$$R_{I, \text{kinostus}, d} = \frac{F_{d, \text{kinostus}} \cdot b}{L} = 1,6 \cdot \frac{25,92 \text{ kN} \cdot 9,619 \text{ m}}{31,1 \text{ m}} = 13 \text{ kN}$$

$$R_{A, \text{kinostus}, d} = \frac{F_{d, \text{kinostus}} \cdot a}{L} = 1,6 \cdot \frac{25,92 \text{ kN} \cdot 24,418 \text{ m}}{31,1 \text{ m}} = 33 \text{ kN}$$

Tuelle I tuleva tukivoima on yhteensä

$$\underline{R_{I,d} = 381 \text{ kN} + 19,6 \text{ kN} + 13 \text{ kN} = 414 \text{ kN} .}$$

Tuelle A tuleva tukivoima on yhteensä

$$\underline{R_{A,d} = 381 \text{ kN} + 145,3 \text{ kN} + 33 \text{ kN} - 43,7 \text{ kN} = 516 \text{ kN} .}$$

6.5.2 Tukipinta

Palkin puristuskestävyys kohtisuoraan syitä vastaan saadaan määriteltyä lausekkeella

$$\sigma_{c\perp} = \frac{R}{bl_{\text{eff}}} \leq f_{c\perp} \quad (30)$$

jossa l_{eff} = tehollinen tukipituus, R = laskentatukireaktio ja $f_{c\perp}$ = puristuslujuus kohtisuoraan syyn suuntaan vastaan voimassa olevien normien mukaan

Tuki A

$$R_{A,d} = 516 \text{ kN}$$

$$f_{c\perp} = \frac{f_{ck\perp} \cdot 1}{1,3} = \frac{4,3 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2}{1,3} = 3307,7 \text{ kN/m}^2$$

$$b = 0,2 \text{ m}$$

$$l_{\text{eff}} = 0,56 \text{ m}$$

$$\sigma_{c\perp} = \frac{516 \text{ kN}}{0,2 \text{ m} \cdot 0,56 \text{ m}} \leq f_{c\perp}$$

$$\sigma_{c\perp} = 4607 \text{ kN/m}^2 > f_{c\perp}$$

Tukipintaa on levennettävä.

Tarvittava tehollinen tukipituus:

$$l_{\text{eff}} = \frac{R_A}{b \cdot f_{c\perp}} = \frac{516 \text{ kN}}{0,2 \text{ m} \cdot 3307,7 \text{ kN/m}^2} = 0,78 \text{ m}.$$

Tarkennettuna:

$$b_{\text{keskim}} = 0,247 \text{ m}$$

$$\sigma_{c,90} = \frac{516 \text{ kN}}{0,247 \text{ m} \cdot 0,56 \text{ m}} \leq f_{c,90}$$

$$\sigma_{c,90} = 3730 \text{ kN/m}^2 > f_{c,90}$$

Tarvittava tehollinen tukipituus:

$$l_{\text{eff}} = \frac{R_A}{b \cdot f_{c,90}} = \frac{516 \text{ kN}}{0,247 \text{ m} \cdot 3307,7 \text{ kN/m}^2} = 0,63 \text{ m}$$

Tukipinnan levennysperiaate on selitetty kohdassa 10.

Tuki I

$$R_I = 414 \text{ kN}$$

$$f_{c\perp} = \frac{4,3 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2}{1,3} = 3307,7 \text{ kN/m}^2$$

$$b = 0,2 \text{ m}$$

$$l_{\text{eff}} = 0,83 \text{ m}$$

$$\sigma_{c\perp} = \frac{414 \text{ kN}}{0,2 \text{ m} \cdot 0,83 \text{ m}} \leq f_{c\perp}$$

$$\sigma_{c\perp} = 2494 \text{ kN/m}^2 \leq f_{c\perp}$$

Tukipinta on riittävän suuri.

6.5.3 Leikkausvoimat

Rak.Mk:n osan B10 /3/ mukaan leikkausvoimia laskettaessa voidaan palkin yläreunaan vaikuttavia kuormia pienentää lineaarisesti, mikäli ne ovat lähempänä kuin palkin korkeuden etäisyydellä tuelta.

Kuormista aiheutuva vähentynyt leikkausvoima tuelle A saadaan kaavalla

$$V_{A,d} = \frac{1}{2}(q_d(L-h) + g_d L) + \frac{a_5}{h} \left(\frac{L-a_5}{L} \right) F_{d5} + \frac{a_4}{h} \left(\frac{L-a_4}{L} \right) F_{d4} \quad (31)$$

$$+ R_{A,1-3,piste,d} + R_{A,kinostus,d} - R_{A,q,d}$$

missä q_d on muuttuva - ja g_d on pysyvä tasainen kuorma murtorajatilassa, a on pistekuorman etäisyys tuelta, F_5 ja F_4 on laskettu kohdassa 6.5.1, $R_{A,1-3,piste,d}$ on pistekuormista 1-3 aiheutuva tukivoima ja $R_{A,kinostus,d}$ on kinostuksesta aiheutuva tukivoima.

$$V_{A,d} = \frac{1}{2}(14,4 \text{ kN/m}(31,1 \text{ m} - 2,05 \text{ m}) + 8,52 \text{ kNm} \cdot 31,1 \text{ m})$$

$$+ \frac{0,21 \text{ m}}{2,05 \text{ m}} \left(\frac{31,1 \text{ m} - 0,21 \text{ m}}{31,1 \text{ m}} \right) 44,4 \text{ kN} + \frac{1,2 \text{ m}}{2,05 \text{ m}} \left(\frac{31,1 \text{ m} - 1,2 \text{ m}}{31,1 \text{ m}} \right) 7,6 \text{ kN}$$

$$+ 93,6 \text{ kN} + 33 \text{ kN} = 434 \text{ kN}$$

Tuelle I vähentämisellä ei ole merkittävää vaikutusta, joten tuen I leikkausvoima saadaan tukireaktiosta

$$V_{I,d} = R_{I,d} = 414 \text{ kN}$$

6.5.4 Leikkauskestävyys

Leikkauskestävyys saadaan laskettua kaavalla

$$\tau = \frac{1,5 \cdot V}{bh} \leq k_v f_v \quad (32)$$

jossa V on laskentaleikkausvoima, f_v on laskentaleikkauslujuus ja k_v on kerroin, joka ottaa huomioon mahdollisen loven palkin päässä.

Palkin vaadittava korkeus (h_v) on

$$h_v = \frac{1,5 \cdot V}{b k_v f_v} \quad (33)$$

jossa b = palkin leveys.

Tuki A

$$V_A = 434 \text{ kN}$$

$$f_v = \frac{f_{vk} \cdot 1}{1,3} = \frac{2,4 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2}{1,3} = 1846 \text{ kN/m}^2$$

$$b = 0,2 \text{ m}$$

$$h = 2,05 \text{ m}$$

$$\tau = \frac{1,5 \cdot 434 \text{ kN}}{0,2 \text{ m} \cdot 2,05 \text{ m}} \leq f_v$$

$$\tau = 1587 \text{ kN} \leq f_v$$

Palkin leikkauskestävyys on riittävä.

Tällöin vaadittavaksi korkeudeksi saadaan

$$h_v = \frac{1,5 \cdot 502 \text{ kN}}{0,2 \text{ m} \cdot 1846 \text{ kN/m}^2} = 1,8 \text{ m}.$$

Vaadittava korkeus on alle palkin korkeuden tuen kohdalla, jolloin palkki kestää hyvin.

Tuki I

$$V_I = 414 \text{ kN}$$

$$f_v = \frac{f_{vk} \cdot 1}{1,3} = \frac{2,4 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2}{1,3} = 1846 \text{ kN/m}^2$$

$$b = 0,2 \text{ m}$$

$$h = 1,8 \text{ m}$$

$$\tau = \frac{1,5 \cdot 414 \text{ kN}}{0,2 \text{ m} \cdot 1,8 \text{ m}} \leq f_v$$

$$\tau = 1725 \text{ kN} \leq f_v$$

Palkin leikkauskestävyys on riittävä.

Tällöin vaadittavaksi korkeudeksi saadaan

$$h_v = \frac{1,5 \cdot V}{b k_v f_v} = \frac{1,5 \cdot 414 \text{ kN}}{0,2 \text{ m} \cdot 1846 \text{ kN/m}^2} = 1,7 \text{ m}.$$

Vaadittava korkeus on alle palkin korkeuden tuen kohdalla, jolloin palkki kestää hyvin.

6.6 Palotekninen mitoitus

Liimapuun palonkesto on esimerkiksi teräkseen verrattuna erittäin hyvä. Tämä perustuu puun hitaaseen hiiltymiseen, jolloin hiiltymätön osa säilyttää lujuutensa jokseenkin samanlaisena kuin normaalitilanteessa. Palkin kestävyys tarkistetaan pienemmälle kuormitustasolle kuin mitoitettaessa rakenteet normaalin käyttötilanteen mukaan. Pienennyksiä tehdään muuttuvien kuormien eli hyöty-, - lumi- ja tuuli- kuormien osalta. Mitoitus suoritetaan noudattaen Rak.Mk:n osaa B10 /3/. Palkin lujuusarvot saadaan ohjeessa olevasta taulukosta 9.1. Rakennus kuuluu paloluokkaan P2, jolloin palonkesto aika on 30 min.

Taulukko 4. Puun lujuuden arvot syiden suunnassa palotilanteessa. /3 s.29/

TAULUKKO 9.1.

Puun lujuuden arvot syiden suunnassa palotilanteessa.

Yksikkö MN/m².

Lujuus- luokka	L40	L30	T30 T3	T24 T2	T18 T1
Taivutus	31	25	23	20	16
Veto	21	17	15	13	8
Puristus	30	24	22	19	15
Leikkaus	2,4	2,4	2	2	2

6.6.1 Hiiltyminen

Tehollinen palamissyvyys lasketaan kaavalla:

$$d_{\text{ef}} = d_{\text{char}} + d_0 \quad (34)$$

missä $d_{\text{ef}} = \beta_0 \cdot t$ = todellinen hiiltymissyvyys millimetreinä, $\beta_0 = 0,7$ mm/min kuusi- tai mäntyliimapuulle, t = palon kesto minuutteina, d_0 = vyöhyke, jossa lujuus on voimakkaasti alentunut = 0,35t mm, kuitenkin enintään 7 mm. /3/

Tehollinen palamissyvyys vähennetään poikkileikkauksesta:

$$h' = h - d_{\text{ef}} \quad (35)$$

$$b' = b - 2 \cdot d_{\text{ef}} \quad (36)$$

Palkin poikkileikkaus $b \times h = 265 \times 2050$ mm.

Tällöin

$$d_{\text{ef}} = 0,7 \text{ mm/min} \cdot 30 \text{ min} + 7 \text{ mm} = 28 \text{ mm}$$

$$b' = 265 \text{ mm} - 2 \cdot 28 \text{ mm} = 209 \text{ mm}$$

$$h' = 2050 \text{ mm} - 28 \text{ mm} = 2022 \text{ mm}$$

6.6.2 Kuormat palotilanteessa

Palotilanteessa palkin kuormituksiksi lasketaan pysyvä kuorma (varmuuskerroin 1,0), puolet lumikuormasta ja oleskelukuormana käytetään arvoa $0,75 \text{ kN/m}^2$. Tässä tapauksessa ei muuteta hyötykuormaa, kuten B10:ssä ohjeistetaan, vaan koko muuttuvasta kuormasta otetaan laskelmiin mukaan puolet (1 kN/m^2).

Tasainen kuorma (p_p) saadaan kaavalla

$$p_p = 1,0 \cdot g + 0,5 \cdot q \quad (37)$$

missä g on pysyvä tasainen kuorma ja q muuttuva tasainen kuorma.

Tällöin saadaan

$$p_p = 1,0 \cdot 7,1 \text{ kN/m} + 0,5 \cdot 9 \text{ kN/m} = 11,6 \text{ kN/m}$$

$$G_d = 1,0 \cdot G$$

$$Q_d = 0,5 \cdot Q$$

$$F_{d1} = G_{d1} + Q_{d1} = (1,0 \cdot 12,3 + 0,5 \cdot 15,1) \text{ kN} = 19,85 \text{ kN}$$

$$F_{d2} = (1,0 \cdot 10,3 + 0,5 \cdot 33,7) \text{ kN} = 27,15 \text{ kN}$$

$$F_{d3} = F_{d4} = 6,3 \text{ kN}$$

$$F_{d5} = (1,0 \cdot 12,3 + 0,5 \cdot 18,5) \text{ kN} = 21,55 \text{ kN}$$

$$F_{d, \text{kinostus}} = 0,5 \cdot 25,92 \text{ kN} = 12,96 \text{ kN}$$

6.6.3 Momentti

Tasaisen kuorman aiheuttama momentti saadaan laskettua kaavan 13 (kohta 6.5.2, s.33) periaatteen mukaisesti, p_d on p_p .

$$M_{p,tas} = \frac{p_p \cdot L^2}{2} \left(\frac{1}{4} - \frac{a^2}{L^2} \right) = \frac{11,6 \text{ kN/m} \cdot (31,1 \text{ m})^2}{2} \left(\frac{1}{4} - \frac{(1 \text{ m})^2}{(31,1 \text{ m})^2} \right) = 1397 \text{ kNm}$$

Pistekuormista aiheuttama momentin laskukaavaksi pätee kaava 14 (kohta 6.5.2, s.33). Kuormat on laskettu kohdassa 6.7.2.

$$M_{p,1} = \frac{19,85 \text{ kN} \cdot 23,1 \text{ m} \cdot 8 \text{ m}}{31,1 \text{ m}} = 118 \text{ kNm}$$

$$M_{p,2} = \frac{27,15 \text{ kN} \cdot 27,1 \text{ m} \cdot 4 \text{ m}}{31,1 \text{ m}} = 95 \text{ kNm}$$

$$M_{p,3} = \frac{6,3 \text{ kN} \cdot 27,9 \text{ m} \cdot 3,2 \text{ m}}{31,1 \text{ m}} = 18 \text{ kNm}$$

$$M_{p,4} = \frac{6,3 \text{ kN} \cdot 29,9 \text{ m} \cdot 1,2 \text{ m}}{31,1 \text{ m}} = 7,3 \text{ kNm}$$

$$M_{p,5} = \frac{21,55 \text{ kN} \cdot 31,1 \text{ m} \cdot 0 \text{ m}}{31,1 \text{ m}} = 0 \text{ kNm}$$

$$M_{1-5,p} = 118 \text{ kNm} + 95 \text{ kNm} + 18 \text{ kNm} + 7,3 \text{ kNm} = 238,3 \text{ kNm}$$

Lumikuorman kinostus saadaan kaavalla 14 (kohta 6.5.2, s.33). Kuormat on laskettu kohdassa 6.7.2.

$$M_{kinostus,p} = \frac{12,96 \text{ kN} \cdot 21,481 \text{ m} \cdot 9,619 \text{ m}}{31,1 \text{ m}} = 86,105 \text{ kNm}$$

Yhteensä:

$$M_p = 1397 \text{ kNm} + 238,3 \text{ kNm} + 86,105 \text{ kNm} = 1722 \text{ kNm}$$

6.6.4 Taivutus ja kiepahdus

Taivutuskestävyys lasketaan käyttäen apuna kaavoja 15, 16 ja 17 (kohta 6.5.3 s.35).

Uudessa rakenteessa vinotukien väli 4,5 m. Vinotuet eivät kestä suojaamatta palotilanteessa. Jokaisessa välissä kolme kappaletta vinotukia suojataan palolta siten, että ne säilyttävät lujuutensa 30 min. Tällöin sivutukien väli kolminkertaistuu.

Tällä periaatteella

$$k_{k1} = 0,045 \text{ (Kuva 5. s. ---)}$$

$$b = 0,209 \text{ m}$$

$$h = 2,022 \text{ m}$$

$$L_k = 13,5 \text{ m}$$

$$\alpha_k = \frac{0,045}{0,209} \sqrt{1,922 \text{ m} \cdot 13,5 \text{ m}} = 1,1$$

Tällöin

$$k_{k1} = 1,56 - 0,75 \cdot 1,1 = 0,735$$

$$M_p = 1722 \text{ kNm}$$

$$f_b = 31000 \text{ kN/m}^2$$

$$b = 0,209 \text{ m}$$

$$h = 2,022 \text{ m}$$

$$\sigma_m = \frac{6 \cdot 1722 \text{ kNm}}{0,209 \text{ m} \cdot (2,022 \text{ m})^2} \leq 1 \cdot f_m$$

$$\sigma_m = 12091 \text{ kN/m}^2 \leq 1 \cdot f_m$$

Palkki kestää.

Kiepahdustuen kestävyys

Vinositeet mitoitetaan puristavalle voimalle (N_d), joka saadaan kaavasta 19 (kohta 6.5.3.2 s.39).

$$N_d = (1 - 0,07) \frac{1722 \text{ kNm}}{1,96} = 817 \text{ kN}.$$

Sauvan tulisi kestää voima

$$\frac{N_d}{(3 \cdot 2)} = 136 \text{ kN}.$$

Sauvan puristuskestävyys saadaan laskettua kaavojen 20, 21, 22 ja 23 mukaisesti (kohta 6.5.3.2, s.39 ja 40).

Liimapuun puristuskestävyys

$$f_c = 0,115 \text{ m} \cdot 0,115 \text{ m} \cdot 30 \text{ MN/m}^2 = 397 \text{ kN}$$

$$i = \sqrt{\frac{(0,115 \text{ m})^2}{12}} = 0,033$$

$$\lambda = \frac{2,1 \text{ m}}{0,033 \text{ m}} = 63,4 \rightarrow k_s = 0,36 \text{ (käytetään alkuvinoutena } \frac{1}{200} \text{)}$$

Tällöin

$$\frac{|136 \text{ kN}|}{0,36 \cdot 397 \text{ kN}} = 0,95 \leq 1$$

Poikkileikkaus kestää.

6.6.5 Tukireaktiot

Tasaisen kuorman aiheuttama tukireaktio saadaan laskettua kaavan 26 (kohta 6.6.1, s.43) periaatteen mukaisesti, tässä kohtaa p_d on p_p .

$$R_{l,A,p,tas} = \frac{p_p}{2} (L + 2a) = \frac{11,6 \text{ kN}}{2} (31,1 \text{ m} + 2 \cdot 1 \text{ m}) = 192 \text{ kNm}$$

Pistekuormista aiheuttama tukivoiman laskukaavaksi tuelle I pätee kaava 27 (kohta 6.6.1, s.44). Kuormat on laskettu kohdassa 6.7.2.

$$R_{l,1,p} = \frac{19,85 \text{ kN} \cdot 8 \text{ m}}{31,1 \text{ m}} = 5,1 \text{ kN}$$

$$R_{l,2,p} = \frac{27,15 \text{ kN} \cdot 4 \text{ m}}{31,1 \text{ m}} = 3,5 \text{ kN}$$

$$R_{l,3,p} = \frac{6,3 \text{ kN} \cdot 3,2 \text{ m}}{31,1 \text{ m}} = 0,7 \text{ kN}$$

$$R_{l,4,p} = \frac{6,3 \text{ kN} \cdot 1,2 \text{ m}}{31,1 \text{ m}} = 0,2 \text{ kN}$$

$$R_{l,5,p} = \frac{21,55 \text{ kN} \cdot 0 \text{ m}}{31,1 \text{ m}} = 0 \text{ kN}$$

$$R_{l,1-5,p} = 5,1 \text{ kN} + 3,5 \text{ kN} + 0,7 \text{ kN} + 0,2 \text{ kN} = 9,5 \text{ kN}$$

Pistekuormista aiheuttama tukivoiman laskukaavaksi tuelle A pätee kaava 28 (kohta 6.6.1, s.44). Kuormat on laskettu kohdassa 6.7.2.

$$R_{A,1,p} = \frac{19,85 \text{ kN} \cdot 23,1 \text{ m}}{31,1 \text{ m}} = 14,7 \text{ kN}$$

$$R_{A,2,p} = \frac{27,15 \text{ kN} \cdot 27,1 \text{ m}}{31,1 \text{ m}} = 23,7 \text{ kN}$$

$$R_{A,3,p} = \frac{6,3 \text{ kN} \cdot 27,9 \text{ m}}{31,1 \text{ m}} = 5,7 \text{ kN}$$

$$R_{A,4,p} = \frac{6,3 \text{ kN} \cdot 29,9 \text{ m}}{31,1 \text{ m}} = 6,1 \text{ kN}$$

$$R_{A,5,p} = \frac{21,55 \text{ kN} \cdot 31,1 \text{ m}}{31,1 \text{ m}} = 21,6 \text{ kN}$$

$$R_{A,1-5,p} = 14,7 \text{ kN} + 23,7 \text{ kN} + 5,7 \text{ kN} + 6,1 \text{ kN} + 21,6 \text{ kN} = 71,8 \text{ kN}$$

Lumikuorman kinostus saadaan laskettua tuelle I kaavalla 27 ja tuelle A kaavalla 28.

$$R_{I,kinostus,p} = \frac{F_{kinostus,p} \cdot b}{L} = \frac{12,96 \text{ kN} \cdot 9,619 \text{ m}}{31,1 \text{ m}} = 4 \text{ kN}$$

$$R_{I,kinostus,p} = \frac{F_{kinostus,p} \cdot a}{L} = \frac{12,96 \text{ kN} \cdot 24,418 \text{ m}}{31,1 \text{ m}} = 10,2 \text{ kN}$$

Tuelle A tuleva tukivoima palotilanteessa on yhteensä

$$\underline{R_{A,p} = 192 \text{ kN} + 71,8 \text{ kN} + 10,2 \text{ kN} = 274 \text{ kN}}$$

Tuelle I tuleva tukivoima palotilanteessa on yhteensä

$$\underline{R_{I,p} = 192 \text{ kN} + 9,5 \text{ kN} + 4 \text{ kN} = 206 \text{ kN}}$$

6.6.6 Leikkausvoimat

Palotilanteessa ei leikkausvoimille tehdä vähennyksiä. Tuelle A ja tuelle I leikkausvoimat ovat samat kuin palkin tukireaktio.

6.6.7 Leikkaus

Leikkauskestävyys lasketaan kaavalla 32 (kohta 6.6.4, s.49).

Tuki A

$$V_{A,p} = 274 \text{ kN}$$

$$f_v = 2400 \text{ kN/m}^2$$

$$b = 0,2 \text{ m} - 2 \cdot 0,028 \text{ m} = 0,144 \text{ m}$$

(tässä $b = 0,2$ metriä, koska poikkileikkaus pienennetty päädyissä, jotta se mahtuisi valmiiden terästen väliin)

$$h = 2,022 \text{ m}$$

$$\tau = \frac{1,5 \cdot 274 \text{ kN}}{0,144 \text{ m} \cdot 2,022 \text{ m}} \leq f_v$$

$$\tau = 1412 \text{ kN} \leq f_v$$

Palkki kestää.

Tuki I

$$V_{I,p} = 206 \text{ kN}$$

$$f_v = 2400 \text{ kN/m}^2$$

$$b = 0,2 \text{ m} - 0,056 \text{ m} = 0,144 \text{ m}$$

$$h = 1,82 \text{ m} - 0,028 \text{ m} = 1,792 \text{ m}$$

$$\tau = \frac{1,5 \cdot 206 \text{ kN}}{0,144 \text{ m} \cdot 1,792 \text{ m}} \leq f_v$$

$$\text{Palkki kestää. } \tau = 1198 \text{ kN} \leq f_v$$

6.7 Kestävyys reiän kohdalta

Palkkiin tehdään viemäriputkia varten reikä, jonka halkaisija on maksimissaan 150 (a_1) mm. Reikä sijoitetaan keskeisesti neutraaliakseliin nähden. Reiän mitoi-

tuksessa käytetään momenttina maksimimomenttia ja leikkausvoimana arvoa 150 kN.

6.7.1 Taivutuskestävyys

Kähkösen /7 s.124/ mukaan leikkausvoimasta aiheutuva momentin lisäys(ΔM) saadaan kaavalla:

$$\Delta M = \frac{V}{2} \cdot \frac{a_1}{2} \quad (38)$$

missä V = leikkausvoima ja a_1 = reiän halkaisija.

Tässä tapauksessa

$$\Delta M = \frac{V}{2} \cdot \frac{a_1}{2} = \frac{150}{2} \cdot \frac{0,15}{2} = 5,6 \text{ kNm}$$

Reiän kohdalla oleva jäyhyysmomentti (I) saadaan kaavalla

$$I = \frac{b_{\text{kok}} \cdot h_{\text{kok}}^3}{12} - \frac{b_{\text{reikä}} \cdot h_{\text{reikä}}^3}{12} \quad (39)$$

missä b_{kok} on koko palkin leveys, h_{kok} on koko palkin korkeus, $b_{\text{reikä}}$ on reiän leveys ja $h_{\text{reikä}}$ on reiän korkeus.

Tässä tapauksessa

$$I = \frac{0,265 \text{ m} \cdot (2,054 \text{ m})^3}{12} - \frac{0,265 \text{ m} \cdot (0,15 \text{ m})^3}{12} = 0,19 \text{ m}^4$$

Taivutusvastus (W) saadaan kaavalla

$$W = \frac{I}{\frac{h}{2}} \quad (40)$$

missä I on jäyhyysmomentti ja h on palkin korkeus.

Tällöin

$$W = \frac{I}{\frac{h}{2}} = \frac{0,19 \text{ m}^4}{1,027 \text{ m}} = 0,185 \text{ m}^3.$$

Ulkoisten kuormitusten aiheuttama jännitys (σ_{bo}) saadaan kaavalla

$$\sigma_{bo} = \frac{M_d}{W} \quad (41)$$

Missä M_d on laskentamomentti ja W on taivutusvastus.

Tällöin

$$\sigma_{bo} = \frac{M_d}{W} = \frac{3537 \text{ kNm}}{0,185 \text{ m}^3} = 19120 \text{ kN/m}^2.$$

Paarten taivutusvastus saadaan soveltamalla kaavoista 34 ja 35. Tällöin

$$W_p = \frac{b \cdot h_{\text{paarre}}^2}{6} = \frac{0,265 \text{ m} \cdot (0,952 \text{ m})^2}{6} = 0,04 \text{ m}^3.$$

ΔM :n aiheuttama lisätaivutusjännitys saadaan soveltamalla kaavaa 36. Tällöin

$$\Delta \sigma_b = \frac{\Delta M}{W_p} = \frac{5,6 \text{ kNm}}{0,04 \text{ m}^3} = 140 \text{ kN/m}^2$$

Tällöin yhteenlaskettu taivutusjännitys ($\Sigma\sigma_b$) saadaan kaavalla

$$\Sigma\sigma_b = \Delta\sigma_b + \sigma_{bo} . \quad (42)$$

Tällöin yhteenlasketuksi taivutusjännitykseksi saadaan

$$\Sigma\sigma_b = \Delta\sigma_b + \sigma_{bo} = 140 \text{ kN/m}^2 + 19120 \text{ kN/m}^2 = 19260 \text{ kN/m}^2 .$$

$$\begin{aligned} f_m &= C_f \cdot \frac{f_{bk} \cdot 1}{1,3} = \left(\frac{300}{h} \right)^{\frac{1}{9}} \cdot \frac{f_{bk} \cdot 1}{1,3} = \left(\frac{300}{1950} \right)^{\frac{1}{9}} \frac{31 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2}{1,3} \\ &= 0,81 \cdot 23846 \text{ kN/m}^2 \\ &= 19315 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

→ Taivutusjännitys on pienempi kuin taivutusvastus. Palkki kestää.

6.7.2 Leikkauskestävyys

Leikkauskestävyys lasketaan kohdan 6.4 kaavan 15 mukaisesti.

$$V_{\text{reikä}} = 150 \text{ kN}$$

$$A_{\text{netto}} = 0,50456 \text{ m}^2$$

$$\tau = 1,5 \cdot \frac{V}{A_{\text{netto}}} = 1,5 \cdot \frac{150 \text{ kN}}{0,50456 \text{ m}^2} = 446 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{d}{h} = \frac{0,15 \text{ m}}{2,054 \text{ m}} = 0,073 \rightarrow \frac{f_{\text{vred}}}{f_v} = 1$$

$$f_{\text{vred}} = 1 \cdot f_v = 1,0 \cdot \frac{2,4 \text{ MN/m}^2}{1,3} = 1846 \text{ kN/m}^2 > \sigma_v$$

Palkki kestää myös reiän kohdalta.

7 VANHOJEN PORAPAALUJEN KESTÄMINEN

Jokainen liimapuupalkki tukeutuu tällä hetkelle kolmeen 250 x 250 mm kokoiseen porapaaluun.

Porapaalujen potentiaali:

$$P = 3(7000 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,25 \text{ m} \cdot 0,25 \text{ m} \cdot 0,85) = 1115,625 \text{ kN}$$

Tällä hetkellä porapaaletta on kuormitettu voimalla 785 kN, josta vesikatolta tulevaa kuormaa on 192 kN. Kun vesikatto puretaan, jää porapaaletuille vapaata potentiaalia seuraavan kaavan mukaan:

$$P_v = 1115,625 \text{ kN} - (785 \text{ kN} - 192 \text{ kN}) = 522,625 \text{ kN}$$

Porapaaletuille tuleva kuorma on sama kuin tukireaktio (kts. kohta 7.1.2.2)

7.1 Tuki I

Yhdeltä palkille tuleva tasainen kuorma, joka siirtyy porapaaletuille:

$$P_d = 414 \text{ kN}.$$

$P_v \geq P_d$, jolloin vapaata potentiaalia jää:

$$P_v = 522,625 \text{ kN} - 414 \text{ kN} = 108,7 \text{ kN}$$

7.2 Tuki A

$$P_{d,kok} = 516 \text{ kN}$$

$P_v \geq P_{d,kok}$, jolloin vapaata potentiaalia jää:

$$P_v = 522,652 \text{ kN} - 516 \text{ kN} = 6,7 \text{ kN}$$

Linjalla A porapaalujen kestävyys riittää.

8 TUKIPINNAN LEVENTÄMINEN

Tukipintaa levennetään tekemällä olemassa olevan tukipinnan laajennus. Tarkoituksena on, että uusi laajennus kestää palkin tuelle aiheuttamat tukivoimat.

Vanhan teräsbetonipalkin tukiosuus on noin $0,14 \text{ m}^2$, uuden tarvittavan tukipinnan pinta-alaksi muodostuu noin $0,025 \text{ m}^2$. Näiden pinta-alojen suhde on

$$\frac{0,025 \text{ m}^2}{0,14 \text{ m}^2} \cdot 100 = 18 \%$$

Tämä tarkoittaa sitä, että tukipinnan leventämisen on kestävä teoriassa noin 18 % koko tuelle tulevasta tukireaktiosta (516 kN).

Tällöin tukipinnan levennykselle kestäväksi tukireaktioksi saadaan

$$P = 0,18 \cdot 516 \text{ kN} = 93 \text{ kN}.$$

Tämä on myös levennyksen kestävä leikkausvoima.

Tukipintaa levennetään asentamalla IV-konehuoneen puoleiseen päätyyn palkin alle L-teräs, joka kiinnitetään kahdella teräspultilla. Pultit porataan läpi kapeammista betonikaistaleista.

Jos ajatellaan, että voima keskittyy keskelle L-terästä, jolloin kuorman etäisyys tuen reunasta on 50 mm. Tällöin koko rakenteelle tuleva vetovoima

$$Px = Ny; N = \frac{Px}{y} \quad (43)$$

missä N on vetovoima, P on pistekuorma, x on pistekuorman vaakasuoraetäisyys tuen reunasta ja y on mutterin pystysuora etäisyys kuormituspisteestä.

$$N = \frac{93 \text{ kN} \cdot 0,05 \text{ mm}}{0,1 \text{ mm}} = 46,5 \text{ kN}$$

Taulukko 5. Ruuvien ainelujuudet. /4/

Taulukko 5.1
Ruuvien ainelujuudet.

Ruuvien lujuus- luokan merkintä ¹⁾	Ainelujuus f_y (N/mm ²)	Huomautukset
5.8	400	Ei käytetä toimivana kitkaliitoksissa
8.8	640	
10.9	900	

¹⁾ Merkintä vastaa sovellettavan standardin mukais-
ta merkintää.

Ruuvit M16 kuuluvat lujuusluokkaan 8.8 jolloin ruuvien vetolujuus saadaan laskettua kaavalla

$$f_{\text{rtd}} = \frac{0,8 \cdot f_y}{\gamma_m} \quad (44)$$

missä f_y saadaan kuvasta 1 ja $\gamma_m = 1,0$.

Tässä tapauksessa

$$f_{\text{rd}} = \frac{0,8 \cdot 640 \text{ N/mm}^2}{1,0} = 512 \text{ N/mm}^2.$$

Tällöin yhden ruuvin ottama vetolujuus on

$$f_{\text{td}} = 512 \text{ N/mm}^2 \cdot \pi \frac{(16 \text{ mm})^2}{4} = 103 \text{ kN}.$$

Kahden ruuvin ottama vetolujuus on

$$f_{\text{td,kok}} = 2 \cdot 103 \text{ kN} = 206 \text{ kN} < N.$$

Mutterit kestävät vetolujuuden hyvin.

Leikkauslujuus saadaan laskettua kaavalla

$$f_{\text{rvd}} = \frac{k_3 \cdot f_y}{\gamma_m} \quad (45)$$

missä f_y saadaan kuvasta 1 ja k_3 on 0,6 kun $f_y \leq 640 \text{ N/mm}^2$, muuten 0,5.

Tässä tapauksessa

$$f_{\text{tvd}} = \frac{0,6 \cdot 640 \text{ N/mm}^2}{1,0} = 384 \text{ N/mm}^2.$$

Tällöin yhden ruuvin ottama leikkauslujuus on

$$f_{\text{vd}} = 384 \text{ N/mm}^2 \cdot \pi \frac{(16 \text{ mm})^2}{4} = 77,2 \text{ kN}.$$

Kahden ruuvin ottama leikkauslujuus

$$f_{\text{vd,kok}} = 2 \cdot 77,2 \text{ kN} = 154,4 \text{ kN} < P.$$

Mutterit kestävät leikkauslujuuden hyvin.

9 PILARIN JA PALKIN NIVELLIITOS

Pilarin ja palkin nivelliitos siirtää sekä pysty- että vaakavoimia. Momentit siirtyvät vain rajoitetusti, eikä niitä yleensä oteta huomioon mitoituksessa. Tässä tapauksessa tarkoituksena on käyttää vanhoja lattateräksiä, sillä vanhojen purkaminen ja uusien asentaminen tuottaisi aivan liikaa turhaa työtä. Kiinnitysruuvit sen sijaan vaihdetaan.

Ainakin yksi vanha liimapuupalkki on halkeillut keskeltä, luultavasti juuri johtuen siitä, että ruuvi on sijoitettu tiukasti keskelle palkkia, jolloin kuormitukset eivät pääse laskeutumaan tuelle, vaan mutteri alkaa kantaa ja palkki halkeaa siltä kohdalta, missä mutteri ottaa vastaan. Liitos on suunniteltava siten, että palkin kulmanmuutosta ei estetä. Tämä tarkoittaa sitä, että ruuveille on tehtävä entistä suuremmat reiät pystysuunnassa

Lattaterästä käytettäessä voimien siirto teräksestä alla olevalle pilarille tapahtuu pultin tai ruuvin välityksellä.

Mitoitus

Kiinnitysteräs mitoitetaan siten, että sitä tarkastellaan kummastakin päästä jäykästi kiinnitettynä palkkina, jota kuormittaa vaakavoima sekä joissakin tapauksissa myös nostava pystyvoima. Voimien oletetaan kohdistuvat ruuviryhmän keskiöön. Rak.Mk:n osan B10 /4/ mukaan pulttiliitosten ominaisleikkauslujuudet lasketaan kaavalla 46. Pienimmän arvon antava kaava on määräävä.

$$F \leq \begin{cases} 9,5k_2t_2d \\ 19k_2t_2d \\ 3k_2t_2d + 17d^2 \\ 33d^2 \sqrt{0,5k_2} \sqrt{\frac{f_y}{240}} \end{cases} \quad (46)$$

missä t_2 on puun paksuus, d on pultin halkaisija, f_y on pultin materiaalin myötöraja (Taulukko 5.) ja k_2 on taulukosta 6 saatava kerroin saatava kerroin.

Taulukko 6. Kaavassa 46 käytettävä kerroin k_2 . /3 s.12/

TAULUKKO 5.7.

Kaavojen (5.11) ja (5.12) k-kertoimet.

Voiman ja puun syyn suunnan välinen kulma	Halkaisija d (mm)		
	6	12	24
0°	1	1	1
30°	1	0,88	0,82
45°	1	0,79	0,70
60°	1	0,70	0,58
90°	1	0,64	0,52

Tässä tapauksessa $t_2 = 200$ mm, $d = 16$ mm ja $f_y = 640$ N/mm² ja $k_2 = 0,64$.

$$F \leq \begin{cases} 9,5 \cdot 0,64 \cdot 200 \cdot 16 = 19456 \text{ N} \\ 19 \cdot 0,64 \cdot 200 \cdot 16 = 38912 \text{ N} \\ 3 \cdot 0,64 \cdot 200 \cdot 16 + 17 \cdot 16^2 = 10496 \text{ N} \\ 33 \cdot 16^2 \sqrt{0,5 \cdot 0,64} \sqrt{\frac{640}{240}} = 7803 \text{ N} \end{cases}$$

Jolloin suurelle F saadaan arvo 7803 N.

Kähkosen /7/ mukaan suora pultille tuleva leikkausvoima saadaan laskettua kaavalla

$$q_1 = \frac{L_1 + L_2}{L_2} R, \quad q_2 = \frac{L_1}{L_2} R \quad (47)$$

missä L_1 on ensimmäisen pultin etäisyys pilarin yläreunasta, L_2 on toisen pultin etäisyys pultista numero 1 ja R on saumassa vaikuttava vaakavoima.

Saumassa vaikuttava voima R saadaan johtamalla taipumakaavoista /10/

$$R = \frac{3}{16} \cdot q \cdot l \quad (48)$$

missä q on tuulen työntävästä ja imevästä voimasta aiheutuva tasainen kuorma ja l on rakennuksen korkeus.

Tuulikuormat on laskettu kohdassa 5.2.3.2. Yhdelle palkille tuleva suurin mahdollinen työntävä kuorma (q) on tässä tapauksessa 2,72 kN/m. Imukuorma on 0,25 kN/m. Tällöin pilarin päähän vaikuttava pistekuorma työntävästä voimasta ja imusta saadaan laskettua kertomalla voimat palkin suurimmalla korkeudella ja muuttavan kuorman varmuuskertoimella.

Tuki I

$$R_I = \frac{3}{16} \cdot (0,25 \text{ kN/m} + 2,72 \text{ kN/m}) \cdot 11,75 \text{ m} = 6,543 \text{ kN}$$

$$q_{1I} = \frac{400 \text{ mm} + 390 \text{ mm} + 100 \text{ mm}}{790 \text{ mm}} \cdot 6543 \text{ N} = 7372 \text{ N}$$

$$q_{2I} = \frac{390 \text{ mm}}{500 \text{ mm}} \cdot 6290 \text{ N} = 4906 \text{ N}$$

Pultti kestää hyvin.

Tuki A

$$R_A = \frac{3}{16} \cdot (0,25 \text{ kN/m} + 2,72 \text{ kN/m}) \cdot 15,06 \text{ m} = 8,387 \text{ kN}$$

$$q_{1A} = \frac{200 \text{ mm} + 500 \text{ mm}}{500 \text{ mm}} \cdot 8,387 \text{ N} = 11741,8 \text{ N}$$

$$q_{2A} = \frac{200 \text{ mm}}{500 \text{ mm}} \cdot 8387 \text{ N} = 3351 \text{ N}$$

Tuella A pultteja on kaksi yhtä voimaa kohtaan, joten pultit kestävät hyvin.

10 “SIVUKAUKALON” PALKKIEN MITOITUS

10.1 Kuormat

Kuormitus palkille saadaan laskemalla yhteen yläpuoliset rakenteet ja lumi. Jos ajatellaan alustavasti, että palkkijako tulisi olemaan k900. Tämä tarkoittaisi, että yhdelle palkille tasainen muuttuva kuorma saadaan selville seuraavalla kaavalla:

$$q = 0,9 \text{ m} \cdot 2 \text{ kN/m}^2 = 1,8 \text{ kN/m}$$

Kattorakenteiden paino voidaan ajatella olevan (palkin omapaino mukaan lukien) $0,5 \text{ kN/m}^2$. Tällöin:

$$g = 0,9 \text{ m} \cdot 0,6 \text{ kN/m}^2 = 0,54 \text{ kN/m}$$

Kinostus

Kinostus saadaan Rakenteiden kuormitusohjeiden /14/ mukaisesti laskettua kaavalla 2

Koska, $\mu_s = \frac{\mu_1 L_1}{2L_s}$, kun $\alpha_1 > 15^\circ$ (pelti, lasi) ja $\alpha_1 > 40^\circ$ (tiili) eikä liukuesteitä ja

muulloin 0 on $\mu_2 = \mu_w$.

Lumikuorman vaikutusmatka saadaan kaavalla 3 (kohta 4.2.2 s.17).

Arvot katsotaan taulukosta h:n arvolla 4,3 m ja L_1 :n arvolla 32,5 m.

Tällöin $\mu_w = 2,8$ ja $L_w = 4(2,8 - 1)m = 7,2 \text{ m}$.

Koska lumikuorma on alueella 2 kN/m^2 , saadaan kinostuskuormaksi

$$s = 2,8 \cdot 2 \text{ kN/m}^2 = 5,6 \text{ kN/m}^2.$$

10.2 Mitoitus

Sivukaukalon palkin leikkaus ja taivutuskestävyys on mitoitettu puupalkkien laskentaohjelmalla Pupax. Laskelmat on esitetty liitteessä 5. Tarvittava tukipinta on laskettu käsin, jotta saataisiin selville kuinka suuri palkkikenkä palkin kiinnittämiseen on varattava.

Tukipinta

Tukipinnan riittävyys saadaan laskettua kaavalla 30 (kohta 6.6.2, s.46)

Tässä tapauksessa

$$R = 8,825 \text{ kN}$$

$$f_{c\perp} = \frac{f_{c\perp k} \cdot 1}{1,3} = \frac{7,0 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2}{1,3} = 5384,6 \text{ kN/m}^2$$

$$b = 0,051 \text{ m}$$

Tarvittava tehollinen tukipituus:

$$l_{\text{eff}} = \frac{R}{b \cdot f_{c\perp}} = \frac{8,825 \text{ kN}}{0,051 \text{ m} \cdot 5384,6 \text{ kN/m}^2} = 0,0321 \text{ m}$$

Eli periaatteessa 50 mm leveä kannake riittää.

10.3 Liittyminen pääpalkkiin

Liitos toteutetaan hitsatulla palkkikengällä.

Kokeillaan BMF:n palkkikenkää tyyppiä normaali 51 x 195. Laskennassa käytetään palkkikengän muotona perusmuotoa 440.

Mitoitus tapahtuu BMF:n tuotekansion /1/ ohjeita noudattaen. Palkin kestävyys määrittämiseksi tarvitaan suureet F (palkin tukireaktio), H_p (primääripalkin korkeus) ja a (ylimmän naulan etäisyys primääripalkin alareunasta).

Tässä F on 8,825 kN, $H_{p,max}$ on 2,3 m ja a on 1,68 m.

Jos ehto $\frac{a}{H_p} > 0,7$ täyttyy, voidaan palkkikengän kestävyys normaalivoimalle määritellä valmistajan antamasta taulukosta.

$$\frac{1,68 \text{ m}}{2,3 \text{ m}} > 0,7$$

$0,73 > 0,7 \rightarrow$ Ehto täyttyy.

Taulukosta saatu kestävyys normaalivoimalle on 10,5 kN, joka on suurempi kuin palkin tukireaktio.

Valitaan palkkikengäksi BMF tyyppi normaali 50 x 195 (254,294).

Kestävyyden takaamiseksi on palkkikengä kiinnitettävä täyteen naulaamalla. Tämä tarkoittaa, että liimapuupalkkiin laitetaan 24 kpl BMF-kampanauloja joiden halkaisija on 4 mm ja pituus 50 mm ja kertopuupalkkiin 14 kpl BMF-kampanauloja joiden halkaisija on 4 mm ja pituus 40 mm.

11 IV-KONEHUONEEN RAKENTEET

IV-konehuoneen rakenteet on aikaisemmin määritetty alustavasti pystykuormille. Nyt tarvitsee kuitenkin ottaa huomioon myös tuulesta aiheutuvat kaatavat voimat. IV- konehuone mitoitetaan Eurocoden mukaan.

11.1 Kuormat

11.1.1 Pysyvä kuorma

Bitumikermi 10 kg/m^2

Lämmöneristeet ISOVER OL-K-TOP 120 kg/m^2

ISOVER OL-P 80 kg/m^2

$$(120 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,050 \text{ m}) + (80 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,2 \text{ m}) = 7,2 \text{ kg/m}^2 + 13,6 \text{ kg/m}^2 \\ = 20,8 \text{ kg/m}^2$$

$$\Rightarrow (10 + 20,8) \text{ kg/m}^2 = 30,8 \text{ kg/m}^2 \Rightarrow \underline{0,308 \text{ kN/m}^2}$$

11.1.2 Lumi

Rakennus sijaitsee Riihimäen alueella jolloin $s_k = 2,75 \text{ kN/m}^2$ ja $\mu = 0,8$ /16/
lumikuorma saadaan kaavalla

$$s = \mu_i s_k \quad (49)$$

missä $s_k = 2,75 \text{ kN/m}^2$ ja $\mu = 0,8$.

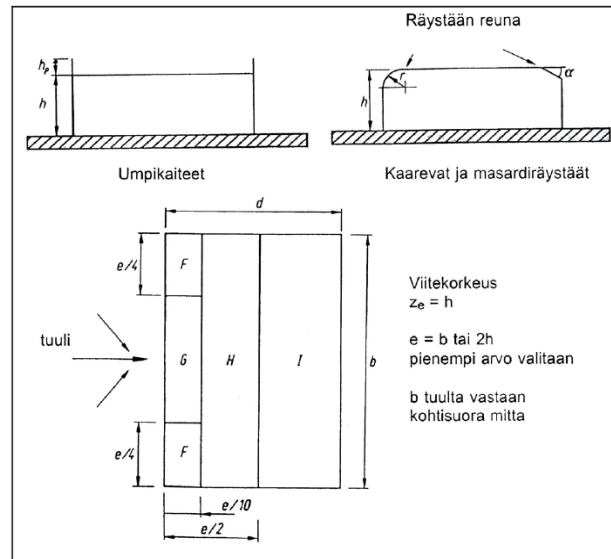
Tällöin $s = 0,8 \cdot 2,75 \text{ kN/m}^2 = 2,2 \text{ kN/m}^2$.

11.1.3 Tuuli

Nopeuspaine saadaan RIL 201-1999 /16/ taulukosta 4.4.3.a.

Maastoluokassa III ja rakennuksen korkeuden ollessa 14,4 metriä saadaan nopeuspaineeksi $q_k(z) = 0,568 \text{ kN/m}^2$, $h = 3,5 \text{ m}$, $B = 32,12 \text{ m}$, $L = 8,1 \text{ m}$,

$$\frac{h}{L} = \frac{3,5 \text{ m}}{8,1 \text{ m}} = 0,43 \leq 0,5 \text{ ja } \alpha < 10^\circ \text{ (tuulen suunta)}$$



Kuva. 4.7.3a. Selitys tasakatoille.

Kuva 8. Kuva tuulen paineen muodostumisesta katolle /16/.

Kun tuulen paine tulee pitkälle sivulle, laskentapituus saadaan seuraavalla kaavalla:

$$e = 2 * h = 2 * 4,5 \text{ m} = 9 \text{ m} \text{ tai } e = b = 32,12 \text{ m}, \text{ pienempi arvo valitaan, eli } e = 9 \text{ m}.$$

$$\text{Tällöin alueen F/G pituus on } \frac{e}{10} = \frac{9 \text{ m}}{10} = 0,9 \text{ m} \text{ ja alueen H pituus}$$

$$\frac{e}{10} = \frac{9 \text{ m}}{2} = 4,5 \text{ m}.$$

$$\text{Alueelle I jää pituudeksi } 8,1 \text{ m} - 0,9 \text{ m} - 4,5 \text{ m} = 2,7 \text{ m}.$$

Kun tuulen paine lyhyelle sivulle, laskentapituus saadaan seuraavalla kaavalla,

$$e = 2 * h = 2 * 4,5 \text{ m} = 9 \text{ m} \text{ tai } e = b = 8,1 \text{ m}, \text{ pienempi arvo valitaan, eli } e = 8,1 \text{ m}.$$

$$\text{Tällöin alueen F/G pituus on } \frac{e}{10} = \frac{8,1 \text{ m}}{10} = 0,81 \text{ m} \text{ ja alueen H pituus}$$

$$\frac{e}{10} = \frac{8,1 \text{ m}}{2} = 4,1 \text{ m}.$$

$$\text{Alueelle I jää pituudeksi } 8,1 \text{ m} - 0,81 \text{ m} - 4,1 \text{ m} = 3,42 \text{ m}.$$

Sisäinen positiivinen paine seinille ja katolle on +0,8. Sisäinen negatiivinen paine seinille ja katolle -0,5.

Tuuli lasketaan neljässä eri tapauksessa, joista valitaan määräävin.

Tapaukset ovat

1. tuuli pitkälle sivulle ja sisäinen positiivinen paine
2. tuuli pitkälle sivulle ja sisäinen negatiivinen paine
3. tuuli päätyyn ja sisäinen positiivinen paine
4. tuuli päätyyn ja sisäinen negatiivinen paine.

1. Tuuli pitkälle sivulle + sisäinen positiivinen paine:

Seinälle, tuulen puoli:

$$W_e = 0,568 \text{ kN/m}^2 \cdot 0 \cdot 4,5 \text{ m} = 0 \text{ kN/m}$$

Seinälle, ei tuulen puoli:

$$W_e = 0,568 \text{ kN/m}^2 \cdot (-0,8 - 0,3) \cdot 4,5 \text{ m} = -2,8 \text{ kN/m}$$

Alueelle F:

$$W_e = 0,568 \text{ kN/m}^2 \cdot (-0,8 - 1,7) \cdot 4,5 \text{ m} = -6,4 \text{ kN/m}$$

Alueelle G:

$$W_e = 0,568 \text{ kN/m}^2 \cdot (-0,8 - 1,2) \cdot 4,5 \text{ m} = -5,1 \text{ kN/m}$$

Alueelle H:

$$W_e = 0,568 \text{ kN/m}^2 \cdot (-0,8 - 0,6) \cdot 4,5 \text{ m} = -3,58 \text{ kN/m}$$

Alueelle J:

$$W_e = 0,568 \text{ kN/m}^2 \cdot (-0,8 - 0,3) \cdot 4,5 \text{ m} = -2,8 \text{ kN/m}$$

Alueelle J:

$$W_e = 0,568 \text{ kN/m}^2 \cdot (-0,8 - 0,3) \cdot 4,5 \text{ m} = -2,8 \text{ kN/m}$$

2. Tuuli pitkälle sivulle + sisäinen negatiivinen paine:

Seinälle, tuulen puoli:

$$W_e = 0,568 \text{ kN/m}^2 \cdot (0,5 + 0,8) \cdot 4,5 \text{ m} = 3,3 \text{ kN/m}$$

Seinälle, ei tuulen puoli:

$$W_e = 0,568 \text{ kN/m}^2 \cdot (0,5 - 0,3) \cdot 4,5 \text{ m} = 0,5 \text{ kN/m}$$

Alueelle F:

$$W_e = 0,568 \text{ kN/m}^2 \cdot (0,5 - 1,7) \cdot 4,5 \text{ m} = -3,1 \text{ kN/m}$$

Alueelle G:

$$W_e = 0,568 \text{ kN/m}^2 \cdot (0,5 - 1,2) \cdot 4,5 \text{ m} = -1,8 \text{ kN/m}$$

Alueelle H:

$$W_e = 0,568 \text{ kN/m}^2 \cdot (0,5 - 0,6) \cdot 4,5 \text{ m} = -0,3 \text{ kN/m}$$

Alueelle J:

$$W_e = 0,568 \text{ kN/m}^2 \cdot (0,5 - 0,3) \cdot 4,5 \text{ m} = 0,5 \text{ kN/m}$$

Alueelle I:

$$W_e = 0,568 \text{ kN/m}^2 \cdot (0,5 - 0,3) \cdot 4,5 \text{ m} = 0,5 \text{ kN/m}$$

3. Tuuli päätyyn + sisäinen positiivinen paine:

Lyhyelle seinälle, tuulen puoli:

$$W_e = 0,568 \text{ kN/m}^2 \cdot (0,8 - 0,8) \cdot 4,5 \text{ m} = 0 \text{ kN/m}$$

Lyhyelle seinälle, ei tuulen puoli:

$$W_e = 0,568 \text{ kN/m}^2 \cdot (-0,8 - 0,3) \cdot 4,5 \text{ m} = -2,8 \text{ kN/m}$$

Pitkälle seinälle, tuulen puoli:

$$W_e = 0,568 \text{ kN/m}^2 \cdot (-0,8 - 0,8) \cdot 4,5 \text{ m} = -4,1 \text{ kN/m}$$

Pitkälle seinälle, tuulen puoli:

$$W_e = 0,568 \text{ kN/m}^2 \cdot (-0,8 - 0,8) \cdot 4,5 \text{ m} = -4,1 \text{ kN/m}$$

Alueelle H:

$$W_e = 0,568 \text{ kN/m}^2 \cdot (-0,7 - 0,8) \cdot 4,5 \text{ m} = -3,8 \text{ kN/m}$$

4. Tuuli päätyyn + sisäinen negatiivinen paine

Lyhyelle seinälle, tuulen puoli:

$$W_e = 0,568 \text{ kN/m}^2 \cdot (0,5 + 0,8) \cdot 4,5 \text{ m} = 3,3 \text{ kN/m}$$

Lyhyelle seinälle, ei tuulen puoli:

$$W_e = 0,568 \text{ kN/m}^2 \cdot (0,5 - 0,3) \cdot 4,5 \text{ m} = 0,5 \text{ kN/m}$$

Pitkälle seinälle, tuulen puoli:

$$W_e = 0,568 \text{ kN/m}^2 \cdot (0,5 - 0,8) \cdot 4,5 \text{ m} = -0,8 \text{ kN/m}$$

Pitkälle seinälle, tuulen puoli:

$$W_e = 0,568 \text{ kN/m}^2 \cdot (0,5 - 0,8) \cdot 4,5 \text{ m} = -0,8 \text{ kN/m}$$

Alueelle H:

$$W_e = 0,568 \text{ kN/m}^2 \cdot (0,5 - 0,7) \cdot 4,5 \text{ m} = -0,5 \text{ kN/m}$$

11.2 Kantavat poimulevyt

Kantavat poimulevyt mitoitetaan tuotevalmistaja Rannilan antamien taulukoiden /9/ perusteella.

11.2.1 Katon kantavan poimulevyn mitoitus

Moduliväli 4,5 m \Rightarrow Lasketaan kolmiaukkoisena, aukon väli $L = 4,5 \text{ m}$.

Tällöin pituus on 13,5 m, eli kuljetus- ja asennusteknisessä mielessä vielä helposti toteutettavissa.

$$\text{Taipumaraja} = L/200 \quad (L > 6,0 \text{ m})$$

Laskentakuorma murtorajatilassa

$$1,2 \cdot g_{\text{op}} + 1,5 \cdot q_{\text{lumi}}$$

$$1,2 \cdot 0,32 \text{ kN/m}^2 + 1,5 \cdot 2,2 \text{ kN/m}^2 = 3,7 \text{ kN/m}^2$$

Kokeillaan: profiili RANNILA 113, kapea laippa tukea vasten.

Valitaan tukileveydeksi 100 mm.

Murtorajatilán kuormituksen huomioivaa taulukkoa käytettäessä näyttäisi siltä, että RANNILA 113, $t = 0,9 \text{ mm}$ vahvuksena kestäisi (sillä $L < 5180 \text{ mm}$).

Tarkistetaan vielä käyttörajatilan suhteen:

Laskentakuorma käyttörajatilassa

$$g_{op} + q_{lumi}$$

$$0,32 \text{ kN/m}^2 + 2,2 \text{ kN/m}^2 = 2,52 \text{ kN/m}^2$$

Myös käyttörajatilassa profiili toimii ($L < 5140$, kun kuormana on $2,5 \text{ kN/m}^2$).

Eli valitaan katon poimulevyksi RANNILA 113, $t = 0,9 \text{ mm}$.

Paino

Poimulevyn ainevahvuus on $0,9 \text{ mm}$, jolloin sen painoksi tulee $11,7 \text{ kg/hm}^2 = 0,12 \text{ kN/hm}^2$

11.2.2 Lattian kantavan poimulevyn mitoitus

Välipohjan profiilipelti on mitoitettava yksiaukkoisena, koska se tukeutuu aina molemmista päistään liimapuupalkkiin.

Välipohjalle tulee hyötykuorma ja koneiden painosta aiheutuva kuorma.

Hyötykuorma on 2 kN/m^2 . Lisäksi profiilipellille tulee kuormaa IV-konehuoneeseen sijoitetuista koneista ja laitteista.

Koneita tulee kaksi kappaletta, joista molemmat painavat 32 kN . Paino jakautuu siten, että yhdelle jännevälille tulee kaksi viivakuormaa (kohta 4.1.5 s.15 ja 16) jotka ovat suuruudeltaan $2,8 \text{ kN/m}$.

Moduliväli $4,5 \text{ m} \Rightarrow$ Lasketaan yksiaukkoisena, aukon väli $L = 4,5 \text{ m}$.

Taipumaraja $= L/150 \quad (L > 6,0 \text{ m})$

Laskentakuorma murtorajatilassa

$$1,2 \cdot g_{op} + 1,2 \cdot g_{kone} + 1,5 \cdot q_{hyöty}$$

$$1,2 \cdot 0,33 \text{ kN/m}^2 + 1,2 \cdot 2,8 \text{ kN/m}^2 + 1,5 \cdot 2,0 \text{ kN/m}^2 = 6,8 \text{ kN/m}^2$$

Kokeillaan: profiili RANNILA 153, kapea laippa tukea vasten.

Valitaan tukileveydeksi 100 mm.

Murtorajatilán kuormituksen huomioivaa taulukkoa käytettäessä näyttäisi siltä, että RANNILA 153, $t = 1,5$ mm vahvuksena kestäisi (sillä $L < 5500$ mm).

Tarkistetaan vielä käyttörajatilan suhteen:

Laskentakuorma käyttörajatilassa

$$g_{op} + q_{lumi}$$

$$0,33 \text{ kN/m}^2 + 2,8 \text{ kN/m}^2 + 2,0 \text{ kN/m}^2 = 5,13 \text{ kN/m}^2$$

Myös käyttörajatilassa profiili toimii ($L < 5300$, kun kuormana on $5,0 \text{ kN/m}^2$).

Eli valitaan katon poimulevyksi RANNILA 153, $t = 1,5$ mm.

Paino

Poimulevyn ainevahvuus on 1,5 mm, jolloin sen painoksi tulee $20,890 \text{ kg/hm}^2 = 0,2089 \text{ kN/hm}^2$

11.3 Kaatuminen

IV-konehuonetta kaatava voima muodostuu tuulesta. Kaatoa estävä voima muodostuu rakenteen omasta painosta. Lunta ei tässä tapauksessa voida ottaa huomioon.

Ajatellaan aina yhtä kehää kerrallaan.

Vasemmalta puolelta tuleva tuuli kaataa IV-konehuonetta oikealle seuraavalla momentilla:

$$Y_{f,dst} E_{k,dst,A} = 1,5 \cdot 3,63 \text{ kN/m} \cdot 7,48 \text{ m} \cdot 3,8 \text{ m} + 1,5 \cdot 3,3 \text{ kN/m} \cdot 3,48 \text{ m} \cdot 1,74 \text{ m} = 184,7 \text{ kN}$$

Kaatoa vastustava voima syntyy pysyvästä kuormasta ja rakenteiden omasta painosta.

Rakenteen koko paino

Yläpohja:

$$(0,12 \text{ kN/m}^2 + 0,33 \text{ kN/m}^2) \cdot 4,5 \text{ m} \cdot 7,48 \text{ m} = 14,8 \text{ kN}$$

Ulkoseinät:

$$(0,34 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,5 \text{ m} \cdot 4,3 \text{ m}) = 6,6 \text{ kN}$$

Teräsrakenne:

$$4,64 \text{ kN}$$

$$Y_{f.stb} E_{k.dst.A} = 0,9 \cdot (14,8 \text{ kN} + 6,6 \text{ kN} + 4,64 \text{ kN}) \cdot 3,74 \text{ m} = 87,65 \text{ kNm}$$

Kaatoa vastustava voima on pienempi kuin kaatumista aiheuttava voima.

Erotus:

$$Y_{f.dst} E_{k.dst.A} - Y_{f.stb} E_{k.dst.A} = 184,7 \text{ kNm} - 87,65 \text{ kNm} = 97 \text{ kNm}.$$

Jolloin pilaria on pidettävä liimapuupalkissa voimalla

$$g_k = \frac{97 \text{ kNm}}{3,74 \text{ m}} = 26 \text{ kN}$$

$$G = \frac{26 \text{ kN}}{0,9} = 29 \text{ kN}$$

Eli liitoksen on kestävä tuon verran ylöspäin suuntautuvaa voimaa. Tämä tarkoittaa, että pilarin ja latan hitsiliitoksen on kestävä 29 kN vetoa.

Jos tuon voiman jakaa neljälle mutterille, tulee jokaisen mutterin kestää 7,25 kN vetävää voimaa.

11.4 Kehän stabiilius

Kokeillaan poikkileikkausta 120 x 120 x 8. Rakenne on sivusiirtymätön jos ehto

$$\frac{V_{s,d}}{V_{cr}} \leq 0,1 \text{ täyttyy /19/}.$$

Poikkileikkauksen leikkauskestävyys (V_{cr}) saadaan kaavalla

$$V_{cr} = N_{cr} = \frac{\pi^2 EA}{\lambda^2} \quad (50)$$

missä E on kimmomoduuli, A on poikkileikkauksen pinta-ala ja λ on hoikkuus.

Hoikkuus saadaan laskettua kaavalla 22 (kohta 6.4.3.2 s.42), L_c on L_{eff} .

Nurjahduspituus L_{eff} saadaan laskettua kaavalla

$$L_{eff} = k \cdot L \quad (51)$$

missä kerroin k on 2 (koska pilarin ja palkin liitos on nivelinen) ja L on palkin pituus.

Poikkileikkauksella 120 x 120 x 8 $i=44,9 \text{ mm}$, $I=676,88 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$,

$E=210000 \text{ N/mm}^2$, $A=33,64 \cdot 10^2 \text{ mm}^2$ ja $L=3480 \text{ mm}$.

$$L_{eff} = 2,0 \cdot 3480 \text{ mm} = 6960 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{6960 \text{ mm}}{44,9 \text{ mm}} = 155,01$$

$$V_{cr} = N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \text{ N/mm}^2 \cdot 33,64 \cdot 10^2 \text{ mm}^2}{155,01^2} = 290172,06 \text{ N} \approx 290,2 \text{ kN}$$

$$\frac{19,5 \text{ kN}}{290,2 \text{ kN}} = 0,067 \geq 0,1 \text{ eli rakenne on sivusiirtymätön.}$$

11.5 Pilari ja palkki

Pilarin ja palkin mitoitus ei esitetä tässä tutkintotyössä. Pilarin ja palkin poikkileikkaus on 120 x 120 x 8.

11.6 Jäykistys

IV-konehuoneen jäykisteinä toimivat vinositeet.

11.6.1 Lyhyen sivun vinositeet

Poikkileikkaus on 70 x 70 x 5.

Kuormat vinositeille tulevat suurimmasta mahdollisesta kaatavasta tuulesta. Puristusvoima saadaan kertomalla kuormitusalue alueelle osuvalla tuulivoimalla

$$N_{sd} = A \cdot w_{\max} = \frac{32,5 \text{ m}}{2} \cdot 3,3 \text{ kN/m} = 53,625 \text{ kN}$$

Vinoside sijaitsee 35° kulmassa vaakatasoon nähden. Tällöin vinositeeseen vaikuttava puristava voima saadaan kaavalla

$$\cos \alpha = \frac{N_{sd}}{R} \quad (52)$$

missä R on tukivoima, N_{sd} on puristava voima ja α vinositeen kulma vaakatasoon nähden.

$$\text{Tällöin } R = \frac{N_{sd}}{\cos \alpha} = \frac{53,625 \text{ kN}}{\cos 35} = 65,46 \text{ kN} .$$

$$\beta_A = 1 \quad (\text{poikkileikkausluokka } 1) \quad /19/, \quad \alpha = 0,34 \quad (\text{nurjahduskäyrä } b) \quad /19/,$$

$$i = 26,2 \text{ mm}, f_y = 355 \text{ N/mm}^2, \quad L_{\text{eff}} = 1 \cdot L = 1 \cdot 2,69 \text{ mm} = 2600 \text{ mm},$$

$$E = 210000 \text{ N/mm}^2, A = 12,36 \cdot 10^2 \text{ mm}^2, \gamma_{M0} = 1,1 \text{ ja } \gamma_{M1} = 1,1.$$

Poikkileikkauskestävyys

$$N_{c,Rd} = \frac{12,36 \cdot 10^2 \text{ mm}^2 \cdot 355 \text{ N/mm}^2}{1,1} \geq N_{sd}$$

$$N_{c,Rd} = 398,9 \text{ kN} \geq N_{sd}$$

Poikkileikkauskestävyys on riittävä.

Nurjahduskestävyys

Nurjahduskestävyys saadaan laskettua kaavalla

$$N_{b,Rd} = \chi \beta_A A \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \quad (53)$$

$$\text{missä } \chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1 \text{ jossa } \phi = 0,5 \left[1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] \text{ ja } \bar{\lambda} = \frac{L_{\text{eff}}}{i \cdot \pi} \sqrt{\frac{\beta_A \cdot f_y}{E}}.$$

Tässä tapauksessa

$$\beta_A = 1 \quad (\text{poikkileikkausluokka } 1) \quad /19/, \quad \alpha = 0,34 \quad (\text{nurjahduskäyrä } b) \quad /19/,$$

$$i = 26,2 \text{ mm}, \quad f_y = 355 \text{ N/mm}^2, \quad L_{\text{eff}} = 1 \cdot L = 1 \cdot 2,69 \text{ mm} = 2600 \text{ mm},$$

$$E = 210000 \text{ N/mm}^2, A = 12,36 \cdot 10^2 \text{ mm}^2, \gamma_{M0} = 1,1 \text{ ja } \gamma_{M1} = 1,1.$$

Jolloin

$$\bar{\lambda} = \frac{2600 \text{ mm}}{26,2 \text{ mm} \cdot \pi} \sqrt{\frac{1 \cdot 355 \text{ N/mm}^2}{210000 \text{ N/mm}^2}} = 1,29875$$

$$\phi = 0,5 \left[1 + 0,34 \cdot (1,29875 - 0,2) + 1,29875^2 \right] = 1,53$$

$$\chi = \frac{1}{1,53 + \sqrt{1,53^2 - 1,29875^2}} \leq 1$$

$$\chi = 0,4275 \leq 1$$

$$N_{b, Rd} = 0,4275 \cdot 1 \cdot 12,36 \cdot 10^2 \text{ mm}^2 \frac{355 \text{ N/mm}^2}{1,1} = 170 \text{ kN}$$

Poikkileikkaus riittää oikein hyvin.

11.6.2 Pitkän sivun vinositeet

Poikkileikkaus 70 x 70 x 5.

Kuormat pitkän sivun vinositeille tulevat suurimmasta mahdollisesta kaatavasta tuulesta, joka kohdistuu päätyseinään. Puristusvoima saadaan kertomalla kuormitusalue alueelle osuvalla tuulivoimalla.

Tällöin

$$N_{Sd} = A \cdot w_{\max} = \frac{8,1 \text{ m}}{2} \cdot 4,1 \text{ kN/m} = 16,6 \text{ kN}.$$

Lumesta aiheutuva lisäkuorma muodostuu pystysuuntaisesta voimasta, joka kerrotaan alkuvinoudella (ϕN_d).

Pystysuuntainen kuorma saadaan kaavasta

$$N_d = 1,2 \cdot g_{op} + 1,5 \cdot \psi \cdot q_{lumi} \quad (54)$$

$$\text{missä } G_{\text{op}} = \frac{87,65 \text{ kN}}{2} = 43,825 \text{ kN}, \quad \psi = 1 \quad /19/ \quad \text{ja}$$

$$Q_{\text{lumi}} = 9,9 \text{ kN/m} \cdot 4,05 \text{ m} = 40,1 \text{ kN}$$

Alkuvinous lasketaan kaavasta

$$\phi = k_c k_s \phi_0 \quad (55)$$

$$\text{missä, } \phi_0 = \frac{1}{200}, \quad k_c = \sqrt{0,5 + \frac{1}{n_c}} \leq 1,0, \quad k_s = \sqrt{0,2 + \frac{1}{n_s}} \leq 1,0, \quad n_c = \text{pilarien lukumäärä tasoa kohti (8 kpl) ja } n_s = \text{kerroksien lukumäärä (1 kpl).}$$

$$\text{Jolloin pystysuuntainen kuorma } N_d = 1,2 \cdot 43,825 \text{ kN} + 1,5 \cdot 1 \cdot 40,1 \text{ kN} = 113 \text{ kN}.$$

Ja alkuvinous

$$\phi_0 = \frac{1}{200} = 0,005$$

$$k_c = \sqrt{0,5 + \frac{1}{8}} = 0,79 \leq 1,0$$

$$k_s = \sqrt{0,2 + \frac{1}{1}} = 1 \leq 1,0$$

$$\phi = 0,79 \cdot 1 \cdot 0,005 = 0,004.$$

Jolloin pystysuorasta voimasta johtuva kaatava voima

$$\phi N_d = 0,004 \cdot 113 \text{ kN} = 0,5 \text{ kN}.$$

$$\text{Tällöin koko kaatava voima on } \phi N_d + N_{\text{sd}} = 0,5 \text{ kN} + 16,6 \text{ kN} = 17,1 \text{ kN}$$

Vinoside sijaitsee n. 45° kulmassa vaakatasoon nähden. Tällöin vinositeeseen vaikuttava puristava voima saadaan kaavalla 49.

$$R = \frac{\phi N_d + N_{\text{sd}}}{\cos \alpha} = \frac{17,1 \text{ kN}}{\cos 45} = 24,2 \text{ kN}$$

Poikkileikkauskestävyys

$$N_{c,Rd} = \frac{12,36 \cdot 10^2 \text{ mm}^2 \cdot 355 \text{ N/mm}^2}{1,1} \geq N_{sd}$$

$$N_{c,Rd} = 398,9 \text{ kN} \geq N_{sd}$$

Poikkileikkauskestävyys on riittävä.

Nurjahduskestävyys

Kestävyys saadaan laskettua edellisen kohdan mukaan, tässä tapauksessa $\beta_A = 1$ (poikkileikkausluokka 1), $\alpha = 0,34$ (nurjahduskäyrä b), $i = 26,2 \text{ mm}$, $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$, $L_{eff} = 1 \cdot L = 1 \cdot 3,8 \text{ mm} = 3800 \text{ mm}$, $E = 210000 \text{ N/mm}^2$, $A = 12,36 \cdot 10^2 \text{ mm}^2$, $\gamma_{M0} = 1,1$ ja $\gamma_{M1} = 1,1$.

Tällöin

$$\bar{\lambda} = \frac{3800 \text{ mm}}{26,7 \text{ mm} \cdot \pi} \sqrt{\frac{1 \cdot 355 \text{ N/mm}^2}{210000 \text{ N/mm}^2}} = 1,8626$$

$$\phi = 0,5 \left[1 + 0,34 \cdot (1,8626 - 0,2) + 1,8626^2 \right] = 2,5173$$

$$\chi = \frac{1}{2,5173 + \sqrt{2,5173^2 - 1,8626^2}} \leq 1$$

$$\chi = 0,2375 \leq 1$$

$$N_{b,Rd} = 0,2375 \cdot 1 \cdot 12,36 \cdot 10^2 \text{ mm}^2 \frac{355 \text{ N/mm}^2}{1,1} = 94,73 \text{ kN}$$

Poikkileikkaus riittää oikein hyvin. Valitaan kuitenkin profilikooksi 70 x 70 x 4.

12 RAKENTEELLISEN TURVALLISUUDEN VARMISTAMINEN /17/

1.9.2006 on astunut voimaan uusi ohje vaativien hankkeiden rakenteellisista laadunvarmistustoimenpiteistä. Kun rakennuskohde on erityisen vaativa, tulee Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan A1 mukaan noudattaa rakenteellisen turvallisuuden erityismenettelyä. Erityismenettely sisältää ne keinot, joilla varmistetaan rakenteiden osalta turvallinen ja laadukas lopputulos sekä toteutuksessa että käyttövaiheessa. Erityismenettelyä noudatetaan RakMk A1:n mukaan hankkeissa, joissa on suuronnettomuuden vaara. Erityismenettelyn prosessi RIL 241-2007 /18/ mukaan on seuraavanlainen:

1. Tarkistetaan erityismenettelyn tarve ja arvioidaan alustavasti riskit rakenteellisen turvallisuuden alustavalla riskiarviolla.
2. Mikäli erityismenettely todetaan tarpeelliseksi, käynnistyy se riskianalyysillä, jonka avulla määritellään tarkemmin riskit ja tarvittavat toimenpiteet.
3. Toteutetaan sovitut erityismenettelyyn liittyvät toimenpiteet, johon liittyy niiden dokumentointi ja tiedottaminen.

Erityismenettelyn toimenpiteet ovat

- rakennesuunnittelijan resurssien varmistaminen
- toimijoiden pätevyyden varmistaminen
- rakennesuunnitelmien ulkopuolinen tarkistus
- rakennusosien valmistuksen laadunvarmistus
- rakenteiden työmaatoteutuksen ulkopuolinen tarkastus
- rakennustuotteen kelpoisuuden varmistaminen rakennuspaikkakohtaisesti
- tehostettu käytönaikainen seuranta ja huolto
- tehostettu hankkeen suunnittelun ja toteutuksen tiedonkulku.

Erityismenettelyn tarve selvitetään luonnossuunnitteluvaiheessa.

Alustava riskianalyysi

Alustava riskianalyysi tarkoittaa, että rakenteen riskit arvioidaan alustavasti. Alustava riskianalyysi tehdään luonnossuunnitelmien pohjalta. Riskiarvio tulee toimittaa rakennusvalvontaviranomaisille hyvissä ajoin ennen rakennusluvan hakemista tai viimeistään lupahakemuksen kanssa. Alustavassa riskiarviossa selvitetään rakennuksen käyttötarkoitukseen, suunnittelun rakenneratkaisuihin ja toteutukseen liittyvät riskit.

Alustava riskianalyysi toteutetaan lomakkeella, joka on jaettu kolmeen pääosaan: yleistietoihin, vahinkojen seuraamuksiin ja hankkeen vaativuuteen. Näiden kolmen pääosan perusteella arvioidaan rakenteelle riskitasoluokka.

Yleistiedoissa selitetään kohteen nimi, rakennuttaja, omistaja/käyttäjä, pääsuunnittelija, vastaava rakennesuunnittelija, rakennuksen käyttötarkoitus, kohteen tilavuus ja pinta-ala sekä rakennuksen runkojärjestelmä. Vahingon mahdollisia seuraamuksia arvioidaan seuraamusluokalla S, joka voi olla 1, 2 tai 3. Luokka 3 tarkoittaa suurta seuraamusta, luokka 2 keskisuurta seuraamusta ja luokka 1 vähäistä seuraamusta. Seuraamusluokan suuruuteen vaikuttavat onnettomuustilanteessa mahdollisesti aiheutuvat

- henkilövahingot (S1)
- ympäristölle aiheutuvat haitat (S2)
- taloudelliset vahingot (S3).

Jokaisen kohdan suuruus arvioidaan asteikolla 1 - 3. Painoarvot jakautuvat siten, että määräävimpänä ovat mahdolliset henkilövahingot. Eli hankkeen seuraamusluokka S on yleensä sama kuin mahdollisista henkilövahingoista tuleva luokka.

Vaativuusluokan V määrittelyssä käytetään samaa arvosteluasteikkoa 1, 2 ja 3.

Vaativuusluokkaan vaikuttavat suunnittelun tai toteutuksen kannalta

- vaativat rakenteet (V2)
- suunnittelun kannalta normaalista poikkeavat staattiset tai dynaamiset kuormitustilanteet (V3)
- tekninen vaativuus käytön, huollon tai olosuhteiden kannalta (V4)
- vaativuus hankkeen tiedonhallinnan tai organisaation kannalta (V5).

Vaativuusluokan määrittelyyn vaikuttaa jokaisesta alaluokasta saatava arvo. Vaativuudelle ei aseteta painoarvoja.

Tämän jälkeen arvioidaan kohteen riskitasoluokka käyttämällä apuna ohjeen RIL 241-2007 sivulla 17 esitettyä taulukkoa 1.

Hankkeen alustava riskianalyysi on esitetty liitteessä 16.

13 YHTEENVETO

Työn aiheena oli suunnitella Riihimäellä Urheilutalolle uusi vesikatto ja IV-konehuoneen rakenteet. Vanha bitumikermikatteinen kattorakenne oli kosteusteknisesti toimimaton ja liimapuukannattajat eivät täyttäneet nykyisten normien vaatimuksia.

Urheiluhallin vesikaton kantavaksi rungoksi mitoitettiin liimapuupalkki, jonka poikkileikkaus on $b \times h = 265 \times 2050$. Liimapuupalkkiin tukeutui vesikattorakenteeksi valittu SPU-elementti sekä IV-konehuone. IV-konehuone muodostui kantavasta teräsrungosta, seinäelementistä sekä ylä- sekä alapohjan kantavasta profiilipelistä. Mitoitustyö oli hyvin monipuolista ja haastavaa, sillä jouduin huomioimaan uuden rakenteen mitoituksen lisäksi myös sen liittymisen vanhaan. Lisää haastetta toi uuden rakenteen suunnittelu siihen muotoon, että se muuttaisi mahdollisimman vähän rakenteen ulkonäköä. Esimerkki tällaisesta suunnittelusta on esitetty liitteen 15 leikkauksessa 102 – 102.

Kattorakenteesta jouduttiin tekemään alustava riskiarvio, jonka mukaan kattorakenne kuuluu erikoismenettelyn piiriin. Rakenne tulee todennäköisesti tarkastettavaksi myös rakennusvalvonnassa.

14 LÄHDELUETTELO

Kirjalliset ja sähköiset lähteet

1. BMF Naulauslevyt. Tuoteluettelo. Saatavuus www.simpsonstrongtie.dk
2. B1 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakenteiden varmuus ja kuormitukset, määräykset 1998. Ympäristöministeriö. Helsinki 1997
3. B10 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Puurakenteet, ohjeet 2001. Ympäristöministeriö. Helsinki 2000
4. B7 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Teräsrakenteet, ohjeet 1996. Ympäristöministeriö. Helsinki 1995.
5. C3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen lämmöneristyksestä 2002. Ympäristöministeriö. Helsinki 2002.
6. Lehtinen, I. 2000. Hitsatut profiilit Käsikirja. Teräsrakenneyhdistys r.y. Helsinki.
7. Leo Kähkönen, Kantavat puurakenteet, Insinööriopetus, Puuinformaatio ry ja Rakennustieto Oy. Rakentajain kustannus. Jyväskylä 1992.
8. Olle Carling, Liimapuukäsikirja. Wood Focus Oy/Suomen Liimapuuyhdistys ry. www.puuinfo.fi. 2003
9. Rannilan, Kantavat rakenteet, Kantavat poimulevyt. Käsikirja 15.1.2006. Saatavuus www.ruukki.com.
10. Rakentajain Kalenteri 2004, Rakennusmestarit ja –insinöörit AMK RKL ry ja Rakennustietosäätiö RTS. Rakennustieto Oy, www.rakennustieto.fi. Hämeenlinna 2003.
11. Riihimäen kaupunki, Riihimäen urheilutalon peruskorjaus. Hankesuunnitelma 28.05.1999.
12. Riihimäen Yhteiskoulun ja Riihimäen urheiluhallin rakennusteknillisten töiden rakennusselostus 30.12.1965. Arkkitehtuuritoimisto Raimo SO Valjakka.
13. RIL 107-2000, Rakennusten veden- ja kosteuden eristysohjeet. © Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. 2000

14. RIL 144-2002, Rakenteiden kuormitusohjeet. © Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. 2002
15. RIL 120-2004, Puurakenteiden suunnitteluohjeet. © Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. 2004
16. RIL 201-1999 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Euronormi, osat 1, 2-1, 2-3 ja 2-4. © Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. 1999 ja © Suomen Standardisoimisliitto SFS.
17. RIL 241-2007, Rakenteellisen turvallisuuden varmistaminen, Erityismenettelyn soveltamisohje. © Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry 2007.
18. RT 80-10632 Rakennuksen suojapellitykset. © Rakennustietosäätiö 1997
19. Saarinen, Eero. Teräsrakenteiden suunnittelu, Eurocode. Sähköinen versio. Teräsrakenneyhdistys r.y. 2002. Julkaisematon.
20. SPU-suunnittelukansio, <http://www.spu.fi/index.php?sivu=2047> (13.11.2006).
21. Urheilutalon kuntoselvitys. Raportti 28.05.1999. K&H Oy Insinööritoimisto.

Suulliset lähteet

22. Martti Leppälä. Keskustelut.
23. Pekka Hosio, Champion Door. Puhelinkeskustelu 13.10.2006.
24. Petri Rantanen, KHTT – Suunnittelu Oy. Puhelinkeskustelu 13.10.2006.
25. Raimo Koreasalo. Keskustelut.
26. Seppo Suuriniemi, A-Insinöörit Oy. Keskustelu 12.9.2006 ja 3.4.2007
27. Tuula Myllykangas, Knauf Oy. Puhelinkeskustelu 2.4.2007.

Vanha palkki, lumikuorma 1,25 kN/m², L30
Laskennan suoritti: pvm 22-09-2006
L= 31100 B= 200 Hh= 1820 H1= 1430 H2= 1430 Harjan etäisyys vas
päästä= 15550 Kuormitusleveys (palkkijako) mm 4500
Pu tas kN/m= 10,38 Palkin tih (kN/m³)= 5 Kimmomod Ek 7000 Mpa
Pys kuorma kN/m² 0,256 Muutt kuorma kN/m² 1,25
Kuorman varmuuskertoimet 1,2 (pys) 1,6 (muutt)
Palkin kokonaisomapaino kN= 50,5
Palkin laatu L30 Kosteusluokka 1 Aikaluokka B
Laskentalujuudet : f_{taiv}= 19,23 fleikk= 1,84
Sall taipuma 124,4 mm
Lisenssi: A-Insinöörit Oy

X	Mu(kNm)	Taiv jänn	Taip(mm) käyttötila	Qu(kN)	Leikk jänn
0				191,76	1
1555	283,55	4,7	30,4	172,91	0,88
3110	537,74	8,48	59,6	153,99	0,76
4665	762,44	11,46	86,7	135	0,65
6220	957,56	13,74	110,8	115,93	0,54
7775	1122,96	15,39	<u>131,6</u>	96,79	0,44
9330	1258,55	16,49	<u>148,6</u>	77,58	0,34
10885	1364,2	17,11	<u>161,9</u>	58,29	0,25
12440	1439,81	17,3	<u>171,2</u>	38,93	0,16
13995	1485,25	17,12	<u>176,7</u>	19,5	0,08
15550	1500,43	16,6	<u>178,5</u>	0	0
17105	1485,25	17,12	<u>176,7</u>	-19,51	0,08
18660	1439,81	17,3	<u>171,2</u>	-38,94	0,16
20215	1364,2	17,11	<u>161,9</u>	-58,3	0,25
21770	1258,55	16,49	<u>148,6</u>	-77,59	0,34
23325	1122,96	15,39	<u>131,6</u>	-96,8	0,44
24880	957,56	13,74	110,8	-115,94	0,54
26435	762,44	11,46	86,7	-135,01	0,65
27990	537,74	8,48	59,6	-154	0,76
29545	283,55	4,7	30,4	-172,92	0,88
31100				-191,77	1

Vanha palkki, lumikuorma 2 kN/m², L40
Laskennan suoritti: pvm 22-09-2006
L= 31100 B= 200 Hh= 1820 H1= 1430 H2= 1430 Harjan etäisyys vas
päästä= 15550 Kuormitusleveys (palkkijako) mm 4500
Pu tas kN/m= 15,78 Palkin tih (kN/m³)= 5 Kimmomod Ek 8500 Mpa
Pys kuorma kN/m² 0,256 Muutt kuorma kN/m² 2
Kuorman varmuuskertoimet 1,2 (pys) 1,6 (muutt)
Palkin kokonaisomapaino kN= 50,5
Palkin laatu L40 Kosteusluokka 1 Aikaluokka B
Laskentalujuudet : ftaiv= 23,84 fleikk= 1,84
Sall taipuma 124,4 mm
Lisenssi: A-Insinöörit Oy

X	Mu(kNm)	Taiv jänn	Taip(mm)	Qu(kN)	Leikk jänn
0			käyttötila	275,73	1,44
1555	407,59	6,76	35,1	248,49	1,26
3110	772,77	12,19	68,7	221,17	1,09
4665	1095,41	16,47	99,9	193,78	0,93
6220	1375,39	19,73	<u>127,7</u>	166,31	0,78
7775	1612,61	22,1	<u>151,6</u>	138,77	0,64
9330	1806,96	23,68	<u>171,3</u>	111,16	0,5
10885	1958,31	<u>24,56</u>	<u>186,6</u>	83,48	0,36
12440	2066,56	<u>24,84</u>	<u>197,3</u>	55,72	0,23
13995	2131,59	<u>24,57</u>	<u>203,7</u>	27,9	0,11
15550	2153,29	23,82	<u>205,7</u>	0	0
17105	2131,59	<u>24,57</u>	<u>203,7</u>	-27,91	0,11
18660	2066,56	<u>24,84</u>	<u>197,3</u>	-55,73	0,23
20215	1958,31	<u>24,56</u>	<u>186,6</u>	-83,49	0,36
21770	1806,96	23,68	<u>171,3</u>	-111,17	0,5
23325	1612,61	22,1	<u>151,6</u>	-138,78	0,64
24880	1375,39	19,73	<u>127,7</u>	-166,32	0,78
26435	1095,41	16,47	99,9	-193,79	0,93
27990	772,77	12,19	68,7	-221,18	1,09
29545	407,59	6,76	35,1	-248,5	1,26
31100				-275,74	1,44

+ 115

Laskennan suoritti: Anna Vikstedt pvm 15-09-2006

L= 31100 B= 315 Hh= 1820 H1= 1430 H2= 1430 Harjan etäisyys vas
päästä= 15550 Kuormitusleveys (palkkijako) mm 4500

Pu tas kN/m= 17,64 Palkin tih (kN/m³)= 5 Kimmomod Ek 7000 Mpa

Pys kuorma kN/m² 0,6 Muutt kuorma kN/m² 2

Kuorman varmuuskertoimet 1,2 (pys) 1,6 (muutt)

Palkin kokonaisomapaino kN= 79,5

Palkin laatu L30 Kosteusluokka 1 Aikaluokka B

Laskentalujuudet : ftaiv= 19,23 fleikk= 1,84

Sall taipuma 155,5 mm

Lisenssi: A-Insinöörit Oy

X	Mu(kNm)	Taiv jänn	Taip(mm)	Qu(kN)	Leikk jänn
0			käyttötila	322,05	1,07
1555	476,17	5,01	32,8	290,36	0,94
3110	902,99	9,04	64,2	258,56	0,81
4665	1280,25	12,22	93,4	226,64	0,69
6220	1607,79	14,64	119,4	194,61	0,58
7775	1885,43	16,4	141,7	162,46	0,47
9330	2112,99	17,58	<u>160,1</u>	130,19	0,37
10885	2290,29	18,24	<u>174,4</u>	97,82	0,27
12440	2417,16	18,44	<u>184,4</u>	65,32	0,17
13995	2493,41	18,24	<u>190,3</u>	32,72	0,08
15550	2518,86	17,69	<u>192,3</u>	0	0
17105	2493,41	18,24	<u>190,3</u>	-32,73	0,08
18660	2417,16	18,44	<u>184,4</u>	-65,33	0,17
20215	2290,29	18,24	<u>174,4</u>	-97,83	0,27
21770	2112,99	17,58	<u>160,1</u>	-130,2	0,37
23325	1885,43	16,4	141,7	-162,47	0,47
24880	1607,79	14,64	119,4	-194,62	0,58
26435	1280,25	12,22	93,4	-226,65	0,69
27990	902,99	9,04	64,2	-258,57	0,81
29545	476,17	5,01	32,8	-290,37	0,94
31100				-322,06	1,07

+ 140

Laskennan suoritti: Anna Vikstedt pvm 15-09-2006

L= 31100 B= 340 Hh= 1820 H1= 1430 H2= 1430 Harjan etäisyys vas
päästä= 15550 Kuormitusleveys (palkkijako) mm 4500

Pu tas kN/m= 17,64 Palkin tih (kN/m³)= 5 Kimmomod Ek 7000 Mpa

Pys kuorma kN/m² 0,6 Muutt kuorma kN/m² 2

Kuorman varmuuskertoimet 1,2 (pys) 1,6 (muutt)

Palkin kokonaisomapaino kN= 85,9

Palkin laatu L30 Kosteusluokka 1 Aikaluokka B

Laskentalujuudet : ftaiv= 19,23 fleikk= 1,84

Sall taipuma 155,5 mm

Lisenssi: A-Insinöörit Oy

X	Mu(kNm)	Taiv jänn	Taip(mm)	Qu(kN)	Leikk jänn
0			käyttötila	325,85	1
1555	481,81	4,7	30,8	293,82	0,88
3110	913,72	8,48	60,4	261,66	0,76
4665	1295,54	11,46	87,7	229,39	0,65
6220	1627,07	13,73	112,2	196,99	0,54
7775	1908,13	15,38	133,2	164,47	0,44
9330	2138,51	16,48	150,5	131,82	0,34
10885	2318,04	17,1	<u>163,9</u>	99,05	0,25
12440	2446,51	17,29	<u>173,3</u>	66,15	0,16
13995	2523,73	17,11	<u>178,9</u>	33,14	0,08
15550	2549,51	16,59	<u>180,7</u>	0	0
17105	2523,73	17,11	<u>178,9</u>	-33,15	0,08
18660	2446,51	17,29	<u>173,3</u>	-66,16	0,16
20215	2318,04	17,1	<u>163,9</u>	-99,06	0,25
21770	2138,51	16,48	150,5	-131,83	0,34
23325	1908,13	15,38	133,2	-164,48	0,44
24880	1627,07	13,73	112,2	-197	0,54
26435	1295,54	11,46	87,7	-229,4	0,65
27990	913,72	8,48	60,4	-261,67	0,76
29545	481,81	4,7	30,8	-293,83	0,88
31100				-325,86	1

+ 165

Laskennan suoritti: Anna Vikstedt pvm 15-09-2006

L= 31100 B= 365 Hh= 1820 H1= 1430 H2= 1430 Harjan etäisyys vas

päästä= 15550 Kuormitusleveys (palkkijako) mm 4500

Pu tas kN/m= 17,64 Palkin tih (kN/m3)= 5 Kimmomod Ek 7000 Mpa

Pys kuorma kN/m2 0,6 Muutt kuorma kN/m2 2

Kuorman varmuuskertoimet 1,2 (pys) 1,6 (muutt)

Palkin kokonaisomapaino kN= 92,2

Palkin laatu L30 Kosteusluokka 1 Aikaluokka B

Laskentalujuudet : ftaiv= 19,23 fleikk= 1,84

Sall taipuma 155,5 mm

Lisenssi: A-Insinöörit Oy

X	Mu(kNm)	Taiv jänn	Taip(mm)	Qu(kN)	Leikk jänn
0			käyttötila	329,64	0,94
1555	487,44	4,42	29,1	297,27	0,83
3110	924,45	7,99	57	264,77	0,72
4665	1310,82	10,8	82,9	232,14	0,61
6220	1646,34	12,94	106	199,37	0,51
7775	1930,82	14,5	125,9	166,48	0,42
9330	2164,03	15,54	142,2	133,44	0,32
10885	2345,78	16,12	154,9	100,28	0,24
12440	2475,85	16,3	163,8	66,99	0,15
13995	2554,05	16,13	169,1	33,56	0,07
15550	2580,16	15,64	170,8	0	0
17105	2554,05	16,13	169,1	-33,57	0,07
18660	2475,85	16,3	163,8	-67	0,15
20215	2345,78	16,12	154,9	-100,29	0,24
21770	2164,03	15,54	142,2	-133,45	0,32
23325	1930,82	14,5	125,9	-166,49	0,42
24880	1646,34	12,94	106	-199,38	0,51
26435	1310,82	10,8	82,9	-232,15	0,61
27990	924,45	7,99	57	-264,78	0,72
29545	487,44	4,42	29,1	-297,28	0,83
31100				-329,65	0,94

+ 190

Laskennan suoritti: Anna Vikstedt pvm 15-09-2006

L= 31100 B= 390 Hh= 1820 H1= 1430 H2= 1430 Harjan etäisyys vas

päästä= 15550 Kuormitusleveys (palkkijako) mm 4500

Pu tas kN/m= 17,64 Palkin tih (kN/m3)= 5 Kimmomod Ek 7000 Mpa

Pys kuorma kN/m2 0,6 Muutt kuorma kN/m2 2

Kuorman varmuuskertoimet 1,2 (pys) 1,6 (muutt)

Palkin kokonaisomapaino kN= 98,5

Palkin laatu L30 Kosteusluokka 1 Aikaluokka B

Laskentalujuudet : ftaiv= 19,23 fleikk= 1,84

Sall taipuma 155,5 mm

Lisenssi: A-Insinöörit Oy

X	Mu(kNm)	Taiv jänn	Taip(mm)	Qu(kN)	Leikk jänn
0			käyttötila	333,43	0,89
1555	493,07	4,19	27,6	300,72	0,78
3110	935,18	7,57	54,1	267,87	0,68
4665	1326,1	10,22	78,7	234,89	0,58
6220	1665,62	12,25	100,6	201,76	0,48
7775	1953,51	13,73	119,5	168,48	0,39
9330	2189,55	14,71	135	135,07	0,31
10885	2373,52	15,27	147	101,51	0,22
12440	2505,2	15,44	155,5	67,82	0,14
13995	2584,37	15,27	160,5	33,98	0,07
15550	2610,81	14,81	162,1	0	0
17105	2584,37	15,27	160,5	-33,99	0,07
18660	2505,2	15,44	155,5	-67,83	0,14
20215	2373,52	15,27	147	-101,52	0,22
21770	2189,55	14,71	135	-135,08	0,31
23325	1953,51	13,73	119,5	-168,49	0,39
24880	1665,62	12,25	100,6	-201,77	0,48
26435	1326,1	10,22	78,7	-234,9	0,58
27990	935,18	7,57	54,1	-267,88	0,68
29545	493,07	4,19	27,6	-300,73	0,78
31100				-333,44	0,89

+ 115, L40

Laskennan suoritti: Anna Vikstedt pvm 15-09-2006

L= 31100 B= 315 Hh= 1820 H1= 1430 H2= 1430 Harjan etäisyys vas

päästä= 15550 Kuormitusleveys (palkkijako) mm 4500

Pu tas kN/m= 17,64 Palkin tih (kN/m3)= 5 Kimmomod Ek 8500 Mpa

Pys kuorma kN/m2 0,6 Muutt kuorma kN/m2 2

Kuorman varmuuskertoimet 1,2 (pys) 1,6 (muutt)

Palkin kokonaisomapaino kN= 79,5

Palkin laatu L40 Kosteusluokka 1 Aikaluokka B

Laskentalujuudet : ftaiv= 23,84 fleikk= 1,84

Sall taipuma 155,5 mm

Lisenssi: A-Insinöörit Oy

X	Mu(kNm)	Taiv jänn	Taip(mm)	Qu(kN)	Leikk jänn
0			käyttötila	322,05	1,07
1555	476,17	5,01	27	290,36	0,94
3110	902,99	9,04	52,9	258,56	0,81
4665	1280,25	12,22	76,9	226,64	0,69
6220	1607,79	14,64	98,3	194,61	0,58
7775	1885,43	16,4	116,7	162,46	0,47
9330	2112,99	17,58	131,8	130,19	0,37
10885	2290,29	18,24	143,6	97,82	0,27
12440	2417,16	18,44	151,9	65,32	0,17
13995	2493,41	18,24	<u>156,7</u>	32,72	0,08
15550	2518,86	17,69	<u>158,3</u>	0	0
17105	2493,41	18,24	<u>156,7</u>	-32,73	0,08
18660	2417,16	18,44	151,9	-65,33	0,17
20215	2290,29	18,24	143,6	-97,83	0,27
21770	2112,99	17,58	131,8	-130,2	0,37
23325	1885,43	16,4	116,7	-162,47	0,47
24880	1607,79	14,64	98,3	-194,62	0,58
26435	1280,25	12,22	76,9	-226,65	0,69
27990	902,99	9,04	52,9	-258,57	0,81
29545	476,17	5,01	27	-290,37	0,94
31100				-322,06	1,07

+ 140, L40

Laskennan suoritti: Anna Vikstedt pvm 15-09-2006

L= 31100 B= 340 Hh= 1820 H1= 1430 H2= 1430 Harjan etäisyys vas

päästä= 15550 Kuormitusleveys (palkkijako) mm 4500

Pu tas kN/m= 17,64 Palkin tih (kN/m3)= 5 Kimmomod Ek 8500 Mpa

Pys kuorma kN/m2 0,6 Muutt kuorma kN/m2 2

Kuorman varmuuskertoimet 1,2 (pys) 1,6 (muutt)

Palkin kokonaisomapaino kN= 85,9

Palkin laatu L40 Kosteusluokka 1 Aikaluokka B

Laskentalujuudet : ftaiv= 23,84 fleikk= 1,84

Sall taipuma 155,5 mm

Lisenssi: A-Insinöörit Oy

X	Mu(kNm)	Taiv jänn	Taip(mm)	Qu(kN)	Leikk jänn
0			käyttötila	325,85	1
1555	481,81	4,7	25,3	293,82	0,88
3110	913,72	8,48	49,7	261,66	0,76
4665	1295,54	11,46	72,2	229,39	0,65
6220	1627,07	13,73	92,4	196,99	0,54
7775	1908,13	15,38	109,7	164,47	0,44
9330	2138,51	16,48	123,9	131,82	0,34
10885	2318,04	17,1	135	99,05	0,25
12440	2446,51	17,29	142,7	66,15	0,16
13995	2523,73	17,11	147,3	33,14	0,08
15550	2549,51	16,59	148,8	0	0
17105	2523,73	17,11	147,3	-33,15	0,08
18660	2446,51	17,29	142,7	-66,16	0,16
20215	2318,04	17,1	135	-99,06	0,25
21770	2138,51	16,48	123,9	-131,83	0,34
23325	1908,13	15,38	109,7	-164,48	0,44
24880	1627,07	13,73	92,4	-197	0,54
26435	1295,54	11,46	72,2	-229,4	0,65
27990	913,72	8,48	49,7	-261,67	0,76
29545	481,81	4,7	25,3	-293,83	0,88
31100				-325,86	1

Kuormat

Ristikoiden jakoväli: 4,5 m.

Vesikatto: $0,6 \text{ kN/m}^2 \rightarrow 2,7 \text{ kN/m}$

Ripustuskuorma: $1,6 \text{ kN/m}$

Teräsrakenne: $5,5 \text{ kN/m}$

IV-konehuoneen rakenteet: $1 \text{ kN/m}^2 \rightarrow 1,2 \text{ kN/m}$

IV-kone: 1 kN/m

Ylä- ja alapaarre

$$\begin{aligned}P_d &= 1,2 \cdot G + 1,6 \cdot Q_{lumi} \\&= 1,2 \cdot (2,7 + 1,6 + 5,5 + 1,2 + 1) \text{ kN} / \text{m} + 1,6 \cdot 9 \text{ kN} / \text{m} \\&= 14,4 \text{ kN} / \text{m} + 14,4 \text{ kN} / \text{m} \\&= 28,8 \text{ kN} / \text{m}\end{aligned}$$

$$M_d = \frac{P_d \cdot L^2}{8} = \frac{28,8 \text{ kN} / \text{m} \cdot (31,1 \text{ m})^2}{8} = 3482 \text{ kNm}$$

$$N_d = \frac{M_d}{h} = \frac{3482 \text{ kNm}}{2 \text{ m}} = 1741 \text{ kN}$$

$$L_c = 1,37 \text{ m}$$

Valitaan taulukosta 200x200x6

Diagonaalit

$$V_d = P_d \cdot \frac{L}{2} = 28,8 \text{ kN} \cdot \frac{31 \text{ m}}{2} = 447 \text{ kN}$$

$$V_d - V_{0dy} = 0$$

$$V_{0dy} = \sqrt{2} \cdot V_d = 632 \text{ kN}$$

$$L_c = 1,73 \text{ m}$$

Valitaan taulukosta 160x160x5.

Korjaava liimapuupalkki

Liitteessä 1 on esitetty laskelmat siitä kuinka suurella palkilla vanhaa liimapuuta on vahvistettava. Liimapuun hinta on noin 600 €/m³.

Lasketaan kustannukset, kun korjaavan liimapuupalkin vahvuus on 115 mm.

Mitat: 1400 – 1820 – 1400.

$$\text{Tilavuus: } (0,14 \text{ m} \cdot 1,4 \text{ m} \cdot 33,1 \text{ m}) + \left(0,14 \text{ m} \cdot \frac{0,42 \text{ m} \cdot 33,1 \text{ m}}{2} \right) = 7,46 \text{ m}^3$$

Vahvistavia palkkeja tulee 8 kpl, joten yhteenlaskettu tilavuus on $7,46 \text{ m}^3 \cdot 8 = 59,68 \text{ m}^3$.

Tällöin palkeille hinnaksi tulisi $59,68 \text{ m}^3 \cdot 600 \text{ €/m}^3 = 35812 \text{ €}$.

Hintaan on lisättävä noin 16000 € kiinnityksen ja tuennan tekemisestä.

Tällöin hinnaksi muodostuu 35812 € + 16000 € = 51812 €

Lasketaan kustannukset myös liimapuupalkilla jonka leveys on 115 mm, vaikka se ei aivan täysin täytä taivutuslujuutta.

Mitat: 1400 – 1820 – 1400

$$\text{Tilavuus: } (0,115 \text{ m} \cdot 1,4 \text{ m} \cdot 33,1 \text{ m}) + \left(0,115 \text{ m} \cdot \frac{0,42 \text{ m} \cdot 33,1 \text{ m}}{2} \right) = 6,13 \text{ m}^3$$

Vahvistavia palkkeja tulee 8 kpl, joten yhteenlaskettu tilavuus on $6,13 \text{ m}^3 \cdot 8 = 49,04 \text{ m}^3$.

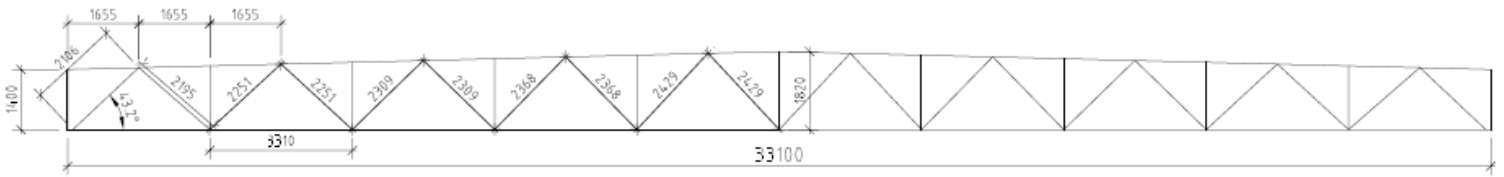
Tällöin palkeille hinnaksi tulisi $49,04 \text{ m}^3 \cdot 600 \text{ €/m}^3 = 29424 \text{ €}$.

Hintaan on lisättävä noin 16000 € kiinnityksen ja tuennan tekemisestä.

Tällöin hinnaksi muodostuu 29424 € + 16000 € = 45424 €

Lisäksi hintaan on lisättävä kiinnitys vanhaan palkkiin ja mahdollinen tukipinnan leventäminen, johon kuuluvat mahdollinen teräsbetonivalu.

Teräsristikko



Kuva 1. Teräsristikon alustavat mitat.

Alustavan teräsristikon mitoituksen mukaan teräsristikkoon käytetään putkea 200 x 200 x 6 n. 66,21 m, putkikokoa 160 x 160 x 6 n. 17,6 m ja putkikokoa 150 x 150 x 6 n. 28,4 m.

Palonsuojamaalattuna ja asennettuna teräsristikko tulisi maksamaan noin 2,5 – 3 €/kg.

Putkikokojen painot

- 200 x 200 x 6 painaa 35,8 kg/m
- 160 x 160 x 6 painaa 28,3 kg/m
- 150 x 150 x 6 painaa 26,4 kg/m.

Yhteensä yksi teräsristikko painaa

$$66,21m \cdot 35,8kg / m + 17,6m \cdot 28,3kg / m + 28,4m \cdot 26,4kg / m = 3618,16kg .$$

8 kpl teräsristikoita painaa $3618,16kg \cdot 8 = 28945,3kg$.

Jos hinta on 2,5 €/kg, saadaan teräsristikoiden hinnaksi $28945,3kg \cdot 2,5 \text{ €/kg} = 72363,25 \text{ €}$.

Jos hinta on 3 €/kg, saadaan teräsristikoiden hinnaksi $28945,3kg \cdot 3 \text{ €/kg} = 86836 \text{ €}$.

Uusi liimapuupalkki

Alustava liimapuupalkin leveys oli tässä vaiheessa 265 mm ja mitat 1650 – 2300 – 1950 – 1650.

Tilavuus:

$$(0,265 \text{ m} \cdot 1,95 \text{ m} \cdot 33,1 \text{ m}) + \left(0,265 \text{ m} \cdot \frac{0,35 \text{ m} \cdot 13,6 \text{ m}}{2} \right) - \left(0,265 \text{ m} \cdot \frac{0,3 \text{ m} \cdot 12 \text{ m}}{2} \right) - (0,3 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} \cdot 0,265 \text{ m})$$
$$= 17,65 \text{ m}^3$$

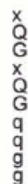
Liimapuita tulee 8 kpl, joten yhteenlaskettu tilavuus on $17,65 \text{ m}^3 \cdot 8 = 141,2 \text{ m}^3$.

Tällöin palkeille hinnaksi tulisi $141,2 \text{ m}^3 \cdot 600 \text{ €/m}^3 = 84720 \text{ €}$.

LIITE 5.

Pvm 19-04-2007

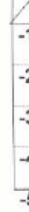
Licensed to: A-Insinöörin Oy



Licensed to: A-Insinööri Oy



Licensed to: A-Insinöörin Oy



Palkin oletettu kuormitusleveys 1 (m) (jolla yllä esitetyt jatkuvat

Max/min tukivoimat [kN]

148,285 184,261

Mm/it/taiv.kestävyys [kNm]	3233,489	3493,157	93 %
----------------------------	----------	----------	------

Vinnuleikur Restavýis [RÍ] 554,255 555,452 75 %

-6.3 mm (63 %) 148.5 mm (95 %) -6.6 mm (66 %)

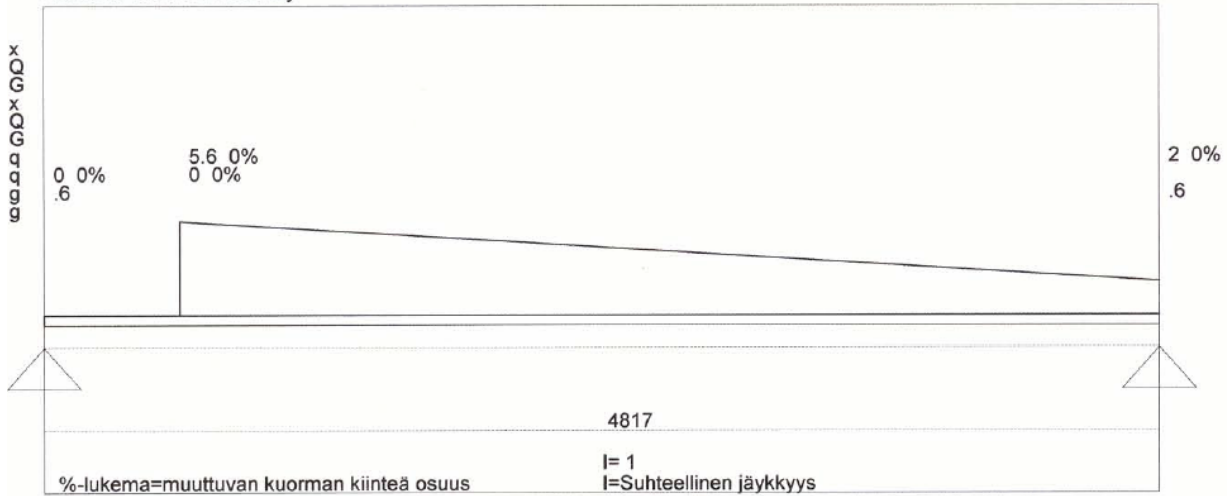
LIITE 6.
Sivukaukalon palkin kestävyyslaskelmat Pupaxilla

Palkin tunnus: Sivukaukalon primäärit IV-konehuoneen kohdalta k900

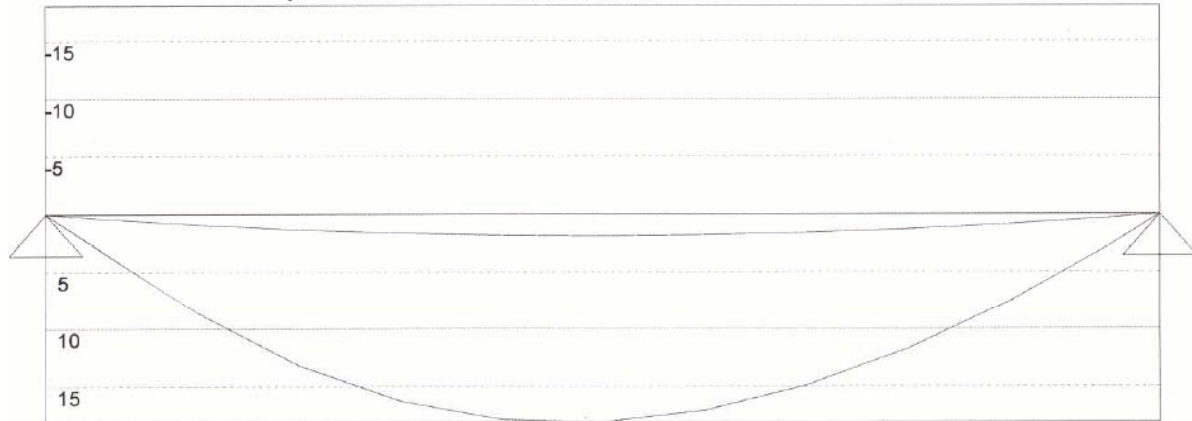
Pvm 19-04-2007

Laskennan suoritti: Anna Vikstedt

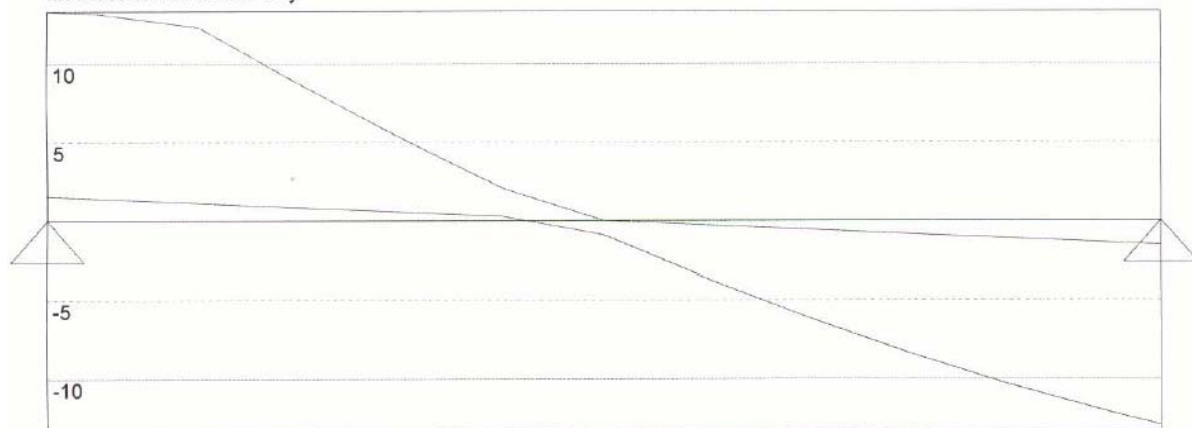
Licensed to: A-Insinöörit Oy



Licensed to: A-Insinöörit Oy



Licensed to: A-Insinöörit Oy



Pysyvän kuorman osavarm kerr= 1.2 Muuttuvan kuorman osavarm kerr= 1.6

Palkin oletettu kuormitusleveys .9 (m) (jolla yllä esitetyt jatkuvat

kuormat on laskennassa kerrottu)

Max/min tukivoimat [kN]

13,339 12,939

1,560 1,561

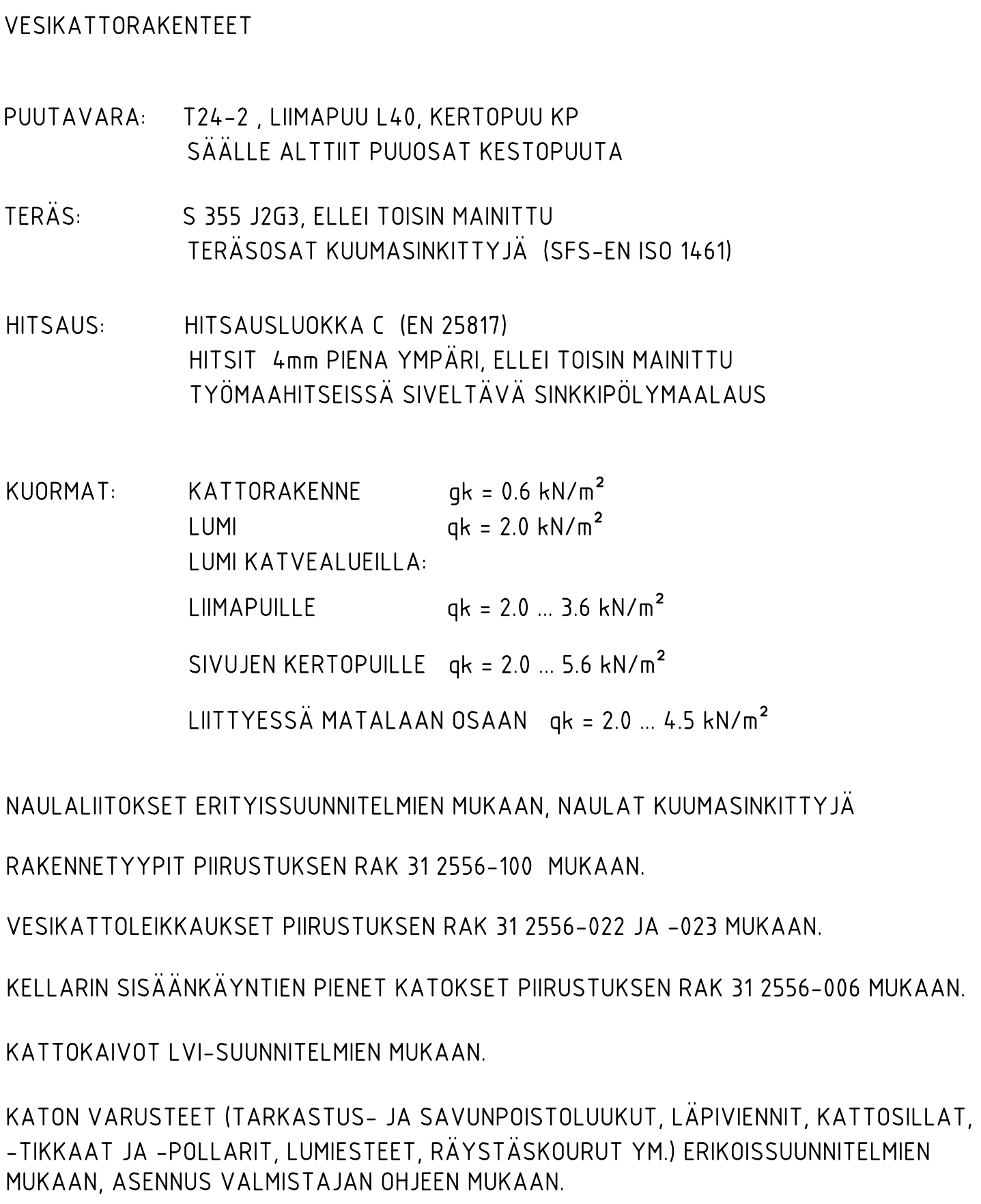
KER 51 x 300 B 1 Cf=1,00 Mit menet RAJA

Mmit/taiv kestävyys [kNm] 18,080 21,773 83 %

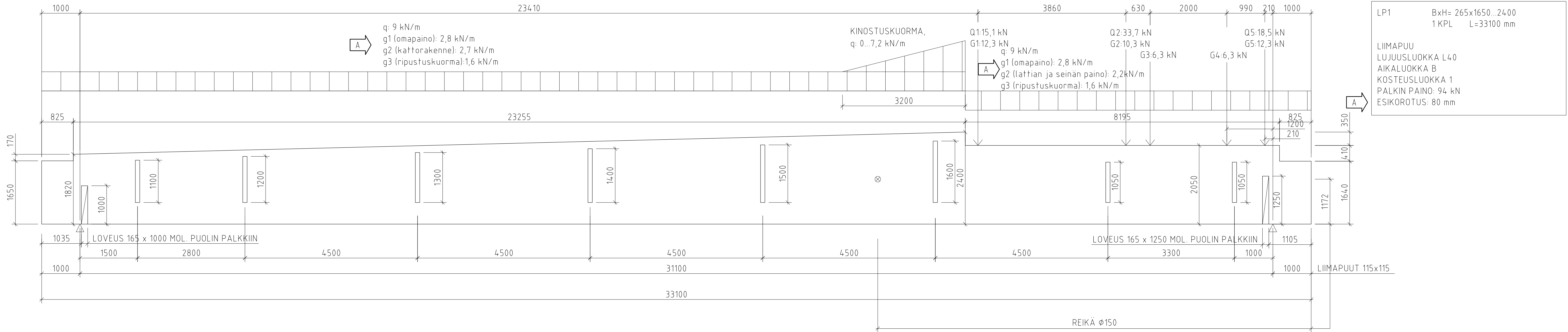
Vmit/leikk kestävyys [kN] 13,339 27,462 49 %

Taipumat (Sall taip L/200)

24,5 mm (102 %)

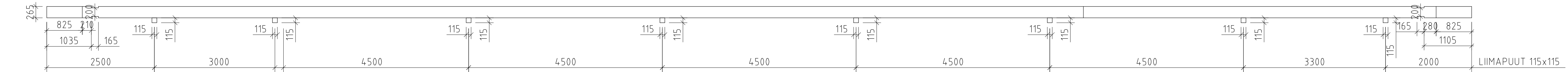
[illegible]



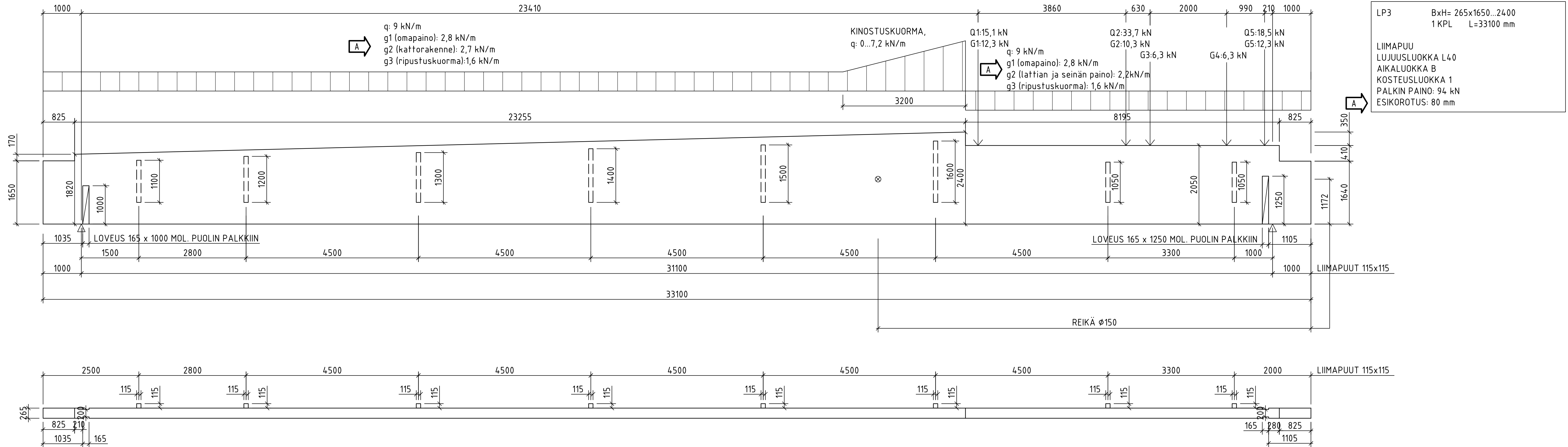


LP1 BxH= 265x1650...2400
1 KPL L=33100 mm

LIIMAPUU
LUJUUSLUOKKA L40
AIKALUOKKA B
KOSTEUSLUOKKA 1
PALKIN PAINO: 94 kN
ESIKOROTUS: 80 mm



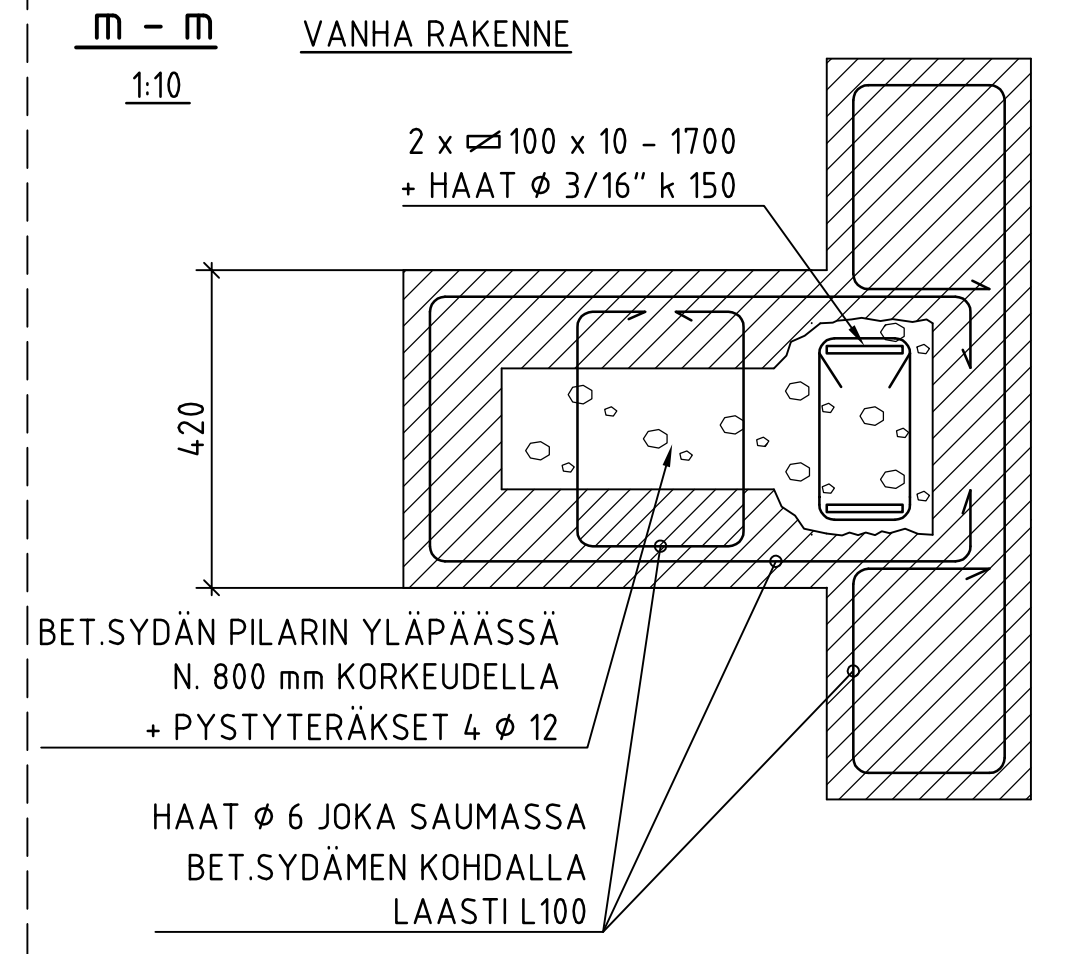
A		LISÄTTY ESIKOROTUS JA KUORMAT TARKASTETTU		MLe	05.04.2007	
tunnus		muutos		nimik.		päiväys
kaupunginosa 9006		kortteli 9		tontti/R.no 1		viranomaisen arkistointimerkintä varten
rakennusloimenpid PERUSKORJAUS/MUUTOS		rakennuskohteen nimi ja osoite RIIHIMÄEN URHEILUTALO Pohjolankatu 6 11120 Riihimäki		RAKENNEPIIRUSTUS piirustuksen sisältö		juoks.nro mittak.
				HALLIOSAN LIIMAPUUPALKKI LP1 (1 KPL) MITTAPIIRUSTUS		1:50
 A-INSINÖÖRIT Satakunnankatu 23 33210 Tampere		Puh. 0207 911 777 Fax. 0207 911 778				
päiväys 18.01.2007		piiri AVi		tark.		liittyy piirustukseen n:o
suunnittelut		hyv.		suon.ala työn n:o		piiri n:o muutos
DI MARTTI LEPPÄLÄ				RAK 31 2556		013 - 1 A



A	LISÄTTY ESIKOROTUS JA KUORMAT TARKISTETTU	MLe	05.04.2007
---	---	-----	------------

tunnus	muutos	nimik.	päiväys
9006	9	1	1
kaupunginosa	kortteli	kontti/Rno	viranomaisen arkistointimerkintä ja varten
9006	9	1	
rakennustoimenpide	PERUSKORJAUS/MUUTOS	RAKENNEPIIRUSTUS	juoks.no
rakennuskohteen nimi ja osoite	RIIHIMÄEN URHEILUTALO	piirustuksen sisältö	mittak.
11120 Riihimäki		HALLIOSAN LIIMAPUUPALKKI LP3 (1 KPL)	1:50
		MITTAPIIRUSTUS	
päiväys	18.01.2007	piirt.	liittyy piirustukseen n:o
suunnittelut	DI MARTTI LEPPÄLÄ	hyv.	suon.ala
		työn no	piir. no
		013 - 3	muutos
		RAK	31 2556

1:10

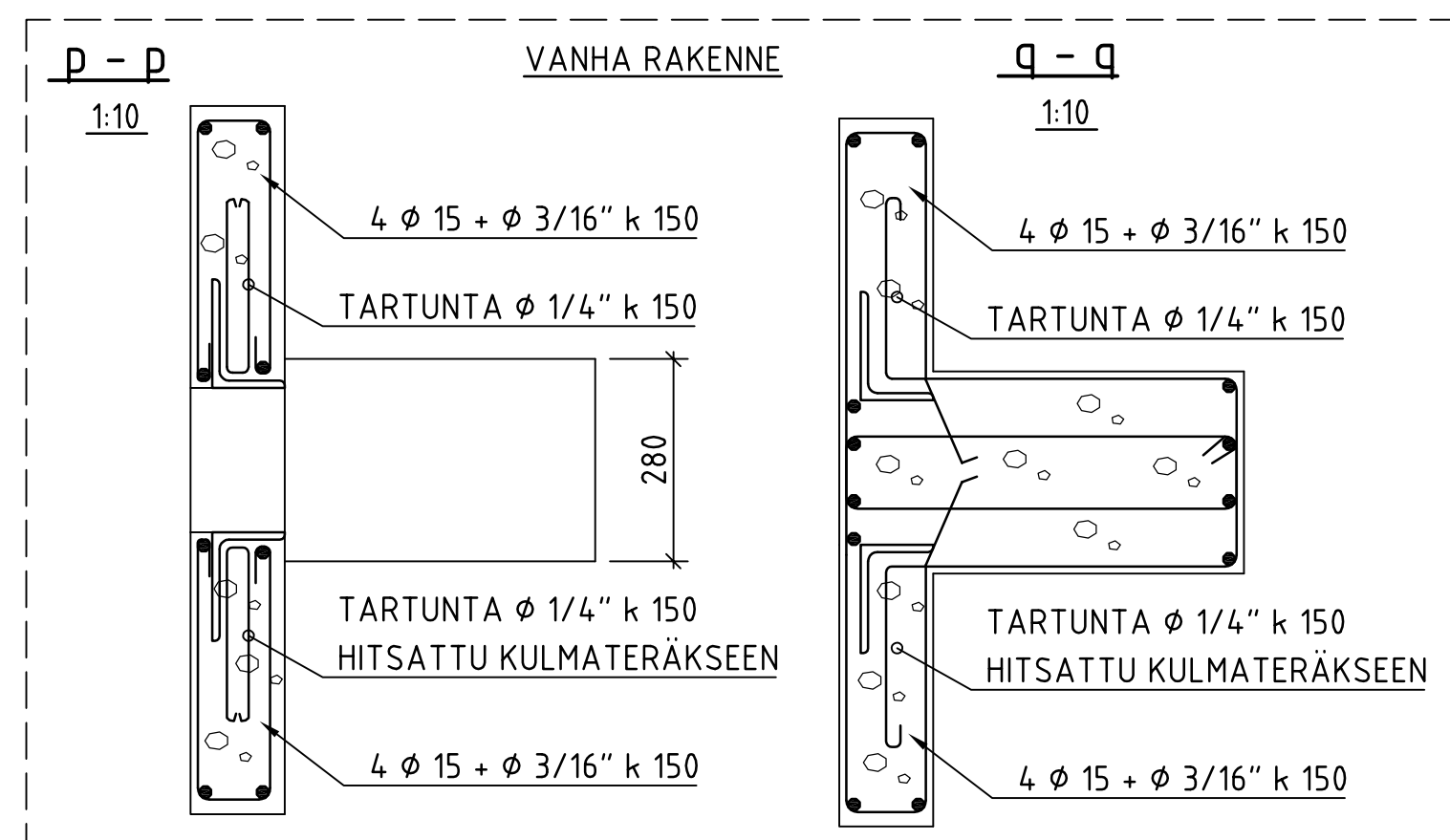
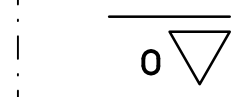
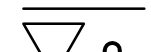


1:10



PUUTAVARA:	LIIMAPUU, LUJUUSLUOKKA L40
NAULAT:	KUUMASINKITTYYÄ LANKA- JA KAMPANAULOJA
RUUVIT:	LUJUUSLUOKKA 8.8
RAKENETERÄS:	YLEENSÄ S355J2, PUTKIPRIFIILIT S355J2 (TUULEL- ULKOTILAAAN RAJOITTUVAT TERÄSSOSAT KUUMA- KAISSA UMPINAISISSA PUTKIPROFIEILEISSA Ø100

1:10

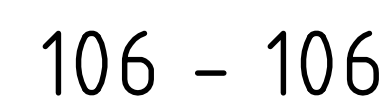
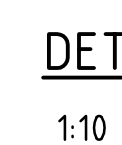
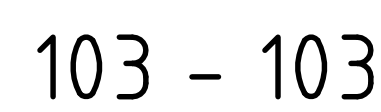
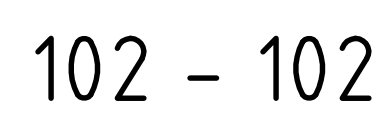
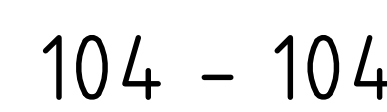
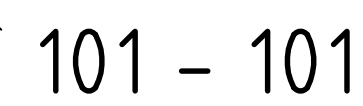


URAKKALASKENTAA VARTEN

tunnus		muutos		nimik.		päiväys	
kaupunginosa 9006		koriteli 9	tonthi/Rvo 1	viranomaisten arkiostointimerkintä ja varien			
rakennusloimateigide				RAKENNEPIIRUSTUS		jooks.nro	
PERUSKORJAUS/ MUUTOS				piirustuksen sisältö		mittak.	
rakennuskohteen nimi ja osoite				HALLIOSAN LIIMAPUUPALKKIEEN LP1...LP3		1:10	
RIIHIMÄEN URHEILUTALO				KIINNITYSDETALJIT			
Pohjolankatu 6							
11120 Riihimäki							
 A-INSINÖÖRIT Satakunnankatu 23 Puh. 0207 911 777 33210 Tampere Fax. 0207 911 778							
päiväys	18.01.2007	piirt.	Avi	tark.	liittyy piirustukseen n:o		
suunnitelut	hyv.			suunnala	työn n:o	piir. n:o	muutos
DI MARTTI I FPPÄI Ä				RAK	31 2556	014	



tunnus		muutos		nimik.		päiväys	
kaupunginosa 9006		kortteli 9	tontti/Rn:o 1	viranomaisten arkistointimerkintöjä varten			
rakennustoimenpide PERUSKORJAUS/MUUTOS				RAKENNEPIIRUSTUS		juoks.nro	
rakennuskohteen nimi ja osoite RIIHIMÄEN URHEILUTALO Pohjolankatu 6 11120 Riihimäki				piirustuksen sisältö LEIKKAUS A - A (HALLIOSA)		mittak. 1:100	
 A-INSINÖÖRIT Satakunnankatu 23 Puh. 0207 911 777 33210 Tampere Fax. 0207 911 778							
päiväys 18.01.2007		piirt. AVI	tark.	liittyy piirustukseen n:o			
suunnittelut		hyv.		suun.ala RAK	työn n:o 31 2556	piir. n:o 020	muutos
DI MARTTI LEPPÄLÄ							



URAKKALASKENTAA VARTEN

[illegible]

Rakenteellisen turvallisuuden alustava riskiarvio			
			Pvm:
Yleistiedot			
Kohteen nimi	Riihimäen urheilutalo, peruskorjaus		
Rakennuttaja	Riihimäen kaupunki, Tekninen virasto		
Omistaja/käyttäjä	Riihimäen kaupunki, Kulttuuri- ja vapaa-aikakeskus		
Pääsuunnittelija	Anneli Hellsten		
Vastaava rakennesuunnittelija	Matti Leppälä		
Rakennuksen käyttötarkoitus	Liikuntatapahtumat ja koululiikunta		
Kohteen tilavuus ja pinta ala	20800 br-m3	4071	br-m2
Rakennuksen runkojärjestelmä (materiaalit, rakenteet)	Hallin osalla rungon muodostavat teräsbetonipilarit ja liimapuupalkit, siipiosalla teräspilarit ja liimapuupalkit. Runkorakenteet on perustettu teräsbetonipaaluille.		
Vahinkojen seuraamukset			
Mahdolliset vahingot ja niiden kuvaus:			
- henkilövahingot		Seuraamusluokka S1 (1-3):	3
- ympäristövahingot		Seuraamusluokka S2 (1-3):	1
- taloudelliset vahingot		Seuraamusluokka S3 (1-3):	2
		Seuraamusluokka S (1-3):	3
Hankkeen vaativuus			
V1. Suunnittelun ja/tai toteutuksen kannalta vaativia rakenteita ovat:			
- rakenteet, joissa on suuri jänneväli, esim.	ON	EI	Tarkennus:
- kupoli- tai kaarikatto, jänneväli yli 20 m	X		
- esivalmistettu rakenne, jänneväli yli 25 m (betoni, puu) tai 36 m(teräs)		X	
- muu paikalla valmistettu rakenne, jänneväli yli 15 m	X		
- korkea rakennus: yli 8 krs. (betoni- tai teräsrak.) tai 3-4 krs. (puurakennus)		X	
- tavanomaisesta poikkeava liittorakenne		X	
- vakavuussuunnittelun osalta erityisen vaativa		X	
- muu vaativa erikoisrakenne, esim.		X	
- uusi rakenne tai liitos, joista ei ole käyttökokemusta		X	
- vaativa liitos, esim. sisältää piiloon jääviä liitososia		X	
- muu riskialtis rakenne (myös ei-kantava)		X	
- vaativat pohjarakennusolosuhteet		X	
- rakennushanke on erittäin vaativa Rak Mk A1 kohdan 3.2.1 ohjeen mukaan	X		
Vaativuus V1 (1-3):			3
V2. Vaativia kuormitustilanteita			
- suuret epäsymmetriset kuormat raskaat kuormat	ON	EI	Tarkennus:
- suuret pistekuormat		X	
- suuret dynaamiset kuormat		X	
- suuret kuormitusvaihtelut ja törmäyskuormat		X	
- vaativat lumi- ja tuulikuormat, esim. rakennuksen muodon takia		X	
Vaativuus V2 (1-3):			1
V3. Teknisesti vaativa käytön, huollon ja ulkoisten olosuhteiden kannalta			
Kuvaus:			
Vaativuus V3 (1-3):			1
V4. Vaativa hankkeen tiedonhallinnan ja organisaation kannalta			
Kuvaus:			
Vaativuus V4 (1-3):			1
Vaativuusluokka V (1-3):			2
Riskitasoluokka R (1-3):			3
Erityismenettelyn tarve (ks. ohje, taulukko 1) ja ehdotus toimenpiteiksi:			
Lomakkeen täyttäjän ja tehtävä: Anna Vikstedt			